

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Hybridní fixátor

Hybrid Fixator

Student:

Lukáš Doležel

Vedoucí bakalářské práce:

Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Doležel**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: Hybridní fixátor
Hybrid Fixator

Zásady pro vypracování:

Navrhněte hybridní fixátor pro léčbu zlomeniny holenní kosti.

V rámci zadání zpracujte:

- analýzu a rešerši dané problematiky
- vhodný způsob uchycení drátů a šroubů s možností natáčení v potřebných rovinách
- rozměry fixátoru volte na základě kontrolního výpočtu metodou MKP
- zpracujte příslušnou výkresovou dokumentaci

Další nutné technické údaje a ujasnění požadavků bude upřesněno v průběhu řešení bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.

ČÁSENSKÝ, M. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1990. 122 s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

SERENSEN, S. V., KOGAJEV, V. P., ŠNEJDEROVIČ, R.M. *Únosnost a pevnostní výpočty strojních součástí*. Praha, SNTL, 1967.

<http://www.prospon.cz/>

<http://www.orthofix.com>

<http://www.synthes.com>

<http://www.osteosynthesis.stryker.com>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Dr.Ing. Jaroslav Melecký**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

18.5.2012



podpis studenta


Tato bakalářská práce vznikla v rámci řešení projektu Zevní fixace (Projekt výzkumu a vývoje MPO FR-TI3/818).

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

18.5.2012


podpis studenta

Lukáš Doležel

Trnkova 523/41

779 00, Olomouc

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce p. Dr. Ing Jaroslavu Meleckému za odborné vedení a cenné rady při řešení dané problematiky.

Anotace bakalářské práce

DOLEŽEL, L. 2012. 57 s. Bakalářská práce: *Hybridní fixátor*. Ostrava. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí práce Dr. Ing. Jaroslav Melecký.

Bakalářská práce je zaměřená na konstrukčním řešení uchycení nosných tyčí a Schanzových šroubů s možností manipulace v různých směrech. Dále vhodný způsob uchycení Kirchnerových drátů na kruhu fixátoru. V úvodu je zpracována rešerše týkající se rozdělení a popis jednotlivých částí fixátoru. Vybrané varianty jsou podrobeny kontrolnímu výpočtu metodou MKP a zpracovány ve výkresové dokumentaci.

Annotation of thesis

DOLEŽEL, L. 2012. 57 s. Thesis: *Hybrid fixator*. Ostrava. VŠB – Technical University of Ostrava. Faculty of Mechanical Engineering. Department of Production Machines and Design. Leader Dr. Ing. Jaroslav Melecký.

The thesis is focused on the structural solution of attachment supporting rods and Schanz's screws with handling in a different directions. In addition, a suitable method of attachment of the Kirchner's wires on the circle of fixator. In the introduction is a research about classification and description of individual parts of the fixator. Selected variants are subject to inspectional FEM calculation and processed in the technical drawings.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	10
1. ÚVOD.....	11
2. CÍL PRÁCE.....	12
3. ROZDĚLENÍ FIXÁTORŮ.....	13
4. ZEVNÍ FIXÁTORY	15
4.1 Historie fixace.....	15
4.2 Druhy zevních fixátorů	16
4.2.1 Unilaterální.....	16
4.2.2 Kruhový	17
4.2.3 Hybridní	18
4.3 Fixační komponenty	19
4.3.1 Hlavní nosná část	19
4.3.2 Držáky podpurných elementů	20
4.3.3 Vlastní podpurné elementy	21
5. VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	24
5.1 Uchycení nosných tyčí.....	24
5.1.1 Varianta 1	25
5.1.2 Varianta 2.....	26
5.1.3 Varianta 3	28
5.2 Uchycení drátů	30
5.3 Návrh uchycení Schanzových šroubů.....	32
5.3.1 Varianta 1	33
5.3.2 Varianta 2.....	37

6.	PEVNOSTNÍ ANALÝZA.....	41
6.1	Pevnostní analýza kruhu	41
6.2	Pevnostní analýza upínky	44
6.3	Pevnostní analýza sestavy.....	48
7.	ZÁVĚR.....	51
8.	LITERATURA	52
9.	SEZNAM PŘÍLOH	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	57

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

3D		Trojrozměrný prostor
ČSN		Česká státní norma
d	[mm]	Největší průměr šroubu
D ₀	[mm]	Průměr díry
d _s	[mm]	Průměr, na kterém působí třecí síla pod maticí
d ₂	[mm]	Střední průměr šroubu a matice
d ₃	[mm]	Nejmenší průměr šroubu
EN		Evropská norma
F _o , F	[N]	Síla
f _m	[-]	Součinitel smykového tření
ISO		Mezinárodní organizace pro standardizaci
l, l _z	[mm]	Délka
M		Značení metrického závitu
MKP		Metoda konečných prvků
M _m	[N.m]	Moment na matici
M _u ,	[N.m]	Utahovací moment
M _z	[N.m]	Krouticí moment namáhající jádro šroubu
P _h	[mm]	Stoupání
r	[mm]	Poloměr
VŠB-TUO		Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
α,	[°]	Vrcholový úhel závitu
μ	[°]	Úhel stoupání závitu
φ'	[°]	Třecí úhel
Δ _{MAX}	[mm]	Posunutí
σ _{MAX}	[MPa]	Maximální hlavní napětí
σ _{MAX (HMH)}	[MPa]	Maximální napětí dle hypotézy HMH

1. ÚVOD

Kostra každého člověka se skládá z 208 až 214 kostí. Každá kost má specifický tvar a velikost dle toho jakou funkci plní, a proto je nezbytné, aby při jejich porušení (úrazu) byla možná léčba. Jednou z možností léčby je použití fixátoru, který je nepostradatelnou součástí při léčení komplikovaných zlomenin a poskytuje tak oporu a stabilitu pro tu část těla, na které je aplikován. Jeho použití bylo významným pokrokem v lékařství. Díky použití těchto fixačních metod se zkrátila doba hojení a celková rehabilitace pacienta. Léčení komplikovaných zlomenin se výrazně začalo rozvíjet v posledních 20 letech.

Traumatologické centrum fakultní nemocnice Ostrava dlouhodobě spolupracuje s katedrou výrobních strojů a konstruování na vývoji nových metod pro zefektivnění prvků konstrukce samotného fixátoru. Podstatou spolupráce je navrhnout jednoduchou stavbu zevního fixátoru především ke zkrácení času stráveného při montáži na operačním sále. Dalším z mnoha důvodů spolupráce je navrhnout fixátor z takových materiálů, jako je např. uhlíkový kompozit, aby byla zajištěna viditelnost v oblasti zlomeniny na rentgenových snímcích. V minulosti již byly na katedře konstrukce navrženy, vyrobeny a následně testovány fixátory bérce, kolena, zápěstí a pánve.

2. CÍL PRÁCE

S pomocí získaných poznatků během studia a shromáždění dat o dané problematice je mým cílem navrhnout nové řešení upínání šroubů a drátů pro hybridní fixátor za použití vhodných materiálů. Řešení návrhu je podpořeno 3D modelem a MKP výpočtem.

3. ROZDĚLENÍ FIXÁTORŮ

Dle druhu zlomeniny je zvolen vhodný typ léčby. Všechny metody jsou založeny na fixaci kosti ve správné poloze. Nejstarším neinvazivním typem léčby je použití sádky. U zlomenin s komplikovaným charakterem je nutnost použít kovového materiálu pro fixaci fragmentů kosti. Fixátory je možné rozdělit na vnitřní a vnější.

Vnitřní fixátory

Fixátor je aplikován přímo na kost a k ní je upevněn pomocí pevného spoje šroubů a fixátoru (dlahy) s kostí. Nevýhodou tohoto druhu fixace je dlouhá doba léčení, která zvyšuje šanci na vznik infekce. Na Obr. 3.1 je vidět, že konstrukce není složitá. Vnitřní fixátory se od různých výrobců odlišují jen drobnými tvarovými odchylkami. Dalším aspektem pro tvar dlahy je i na jakou kost, nebo část, je určena. Mezi přední výrobce tohoto typu fixátoru na českém trhu patří firmy Medin, Prospan, ve světě to jsou firmy Orthofix, Synthes nebo Stryker.



Obr. 3.1 - Různé typy dlah od firmy Medin a.s.[1]

Vnější (zevní) fixátor

Konstrukce vnějšího fixátoru je komplikovanější a skládá se z většího počtu částí. Výhodou použití zevního fixátoru je jeho schopnost dobře zafixovat kost při minimální invazí do měkké tkáně pomocí šroubů a drátů a zároveň jednoduchost aplikace. Samotná konstrukce je navržena tak, aby udržela váhu dospělého člověka.



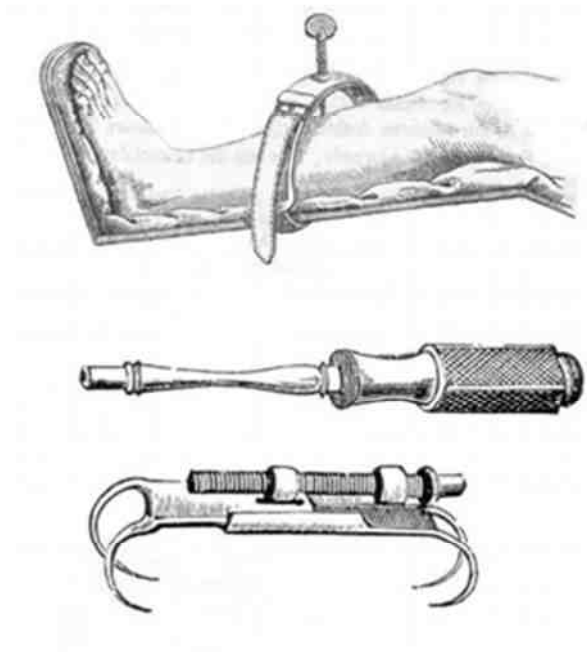
Obr. 3.2 - Konstrukční provedení zevního fixátoru firmy Synthes[2]

4. ZEVNÍ FIXÁTORY

4.1 Historie fixace

Prvním zakladatelem zevní fixace se považuje anatom a chirurg Joseph Fr Malgaigne. Ve skutečnosti se nejednalo o zevní fixaci tak, jak ji známe dnes. Malgaigne svojí publikací inspiroval i další chirurgy a započal tak novou metodu léčby zlomenin.[3]

Ilizarův fixátor vůbec poprvé aplikovaný při zlomenině Valeria Brumela, významného sportovce světového měřítka ve skoku do výšky, odstartoval nový směr ve vývoji a léčení zlomenin. O tom, že Ilizarův fixátor byl revoluční, svědčí fakt, že Brumel byl schopen se postavit dva dny po operaci a po třech týdnech byl zcela vyléčen. Ilizarov tak dosáhl světového uznání, které mu umožnilo rozvoj této metody. [4]



Obr. 4.1 - Malgaigného bodec a háky [3]

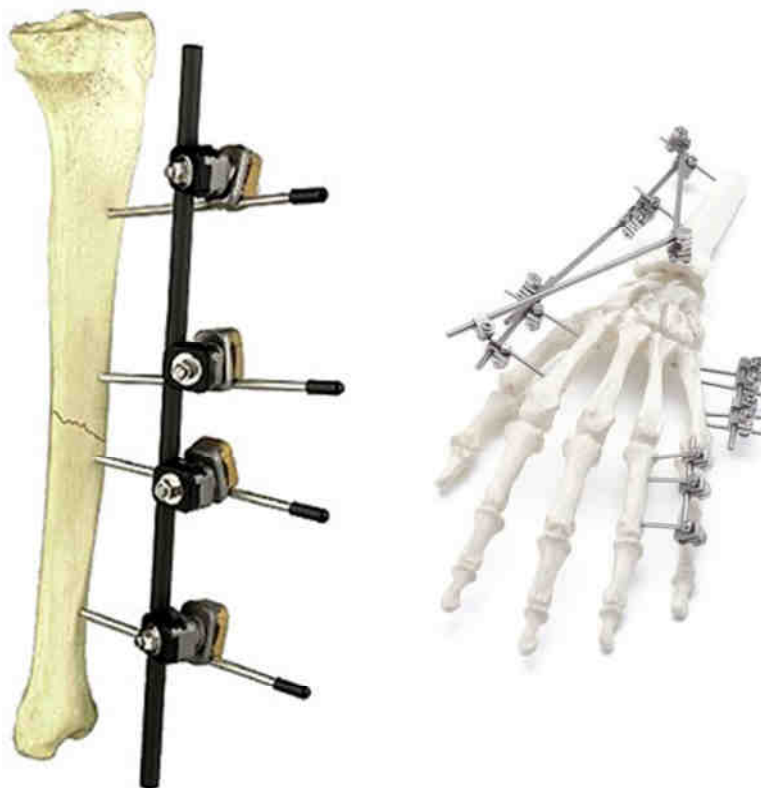
4.2 Druhy zevních fixátorů

Každá firma, zabývající se vývojem a výrobou, má vlastní řešení pro konstrukci zevních fixátorů. Obecně je můžeme rozdělit do tří skupin:

- Unilaterální (jednostranný)
- Kruhový
- Hybridní

4.2.1 Unilaterální

Vyznačuje se svoji jednoduchou konstrukcí. Velký typ unilaterálního fixátoru se používá především pro léčbu dolních končetin, střední typ pak pro horní končetiny dospělých a horní i dolní končetiny dětí a dospělých menší postavy u otevřených fraktur. Výhodou jsou rychlé počáteční imobilizace poranění měkkých tkání a zlomenin u těžce poraněných pacientů, dále i u uzavřených a rozsáhlých zlomenin.[4]



Obr. 4.2 - Ukázky použití unilaterálního fixátor [5]

4.2.2 Kruhový

U kruhových fixátorů je konstrukce stabilně upevněna s kostí pomocí Kirschnerových drátů. Obvykle jsou aplikovány na holeně, ale může být také aplikován na stehenní kost nebo předloktí.[5]



Obr. 4.3 - Kruhový fixátor [5]

Kruhy fixátoru mohou být dělené pro zlepšení podmínek montáže, ale snižuje se tak stabilita konstrukce těla fixátoru. Mezi dvěma hlavními částmi jsou oddalovací elementy, které zajišťuje oddalování kruhů za účelem prodloužení poškozené kosti.

4.2.3 Hybridní

Konstrukce hybridního fixátoru je kombinací spojení předchozích dvou druhů zevní fixace tzn., že k fixaci kostních fragmentů jsou používány Schanzovy šrouby a ty jsou upnuty v konstrukci, která je připevněna na kruhu. Kruh je podobným způsobem ustaven jako u kruhového fixátoru pomocí Kirschnerových drátů. Použitím hybridního fixátoru se sníží diskomfort pacienta, protože konstrukce samotného fixátoru má minimální hmotnost a objem, kterým zasahuje do prostoru.[10]



Obr. 4.4 - Schéma hybridního fixátoru XCaliber (Orthofix)[6]

4.3 Fixační komponenty

Obecně se fixátor skládá z tří základních konstrukčních prvků[4]:

- Hlavní nosná část (kruhy, segmenty, objímky, spojující prvky)
- Držáky podpůrných elementů
- Vlastní podpůrné elementy (hřeby, šrouby, dráty)

Všechny části musí být navrhovány s vysokou pevností, protože fixátor slouží jako opora člověku a přenáší zatížení na místo poškozené kosti. Dále by jednotlivé části měli být co nejlehčí, z důvodů částečné mobility člověka a manipulaci s částmi na operačním sále. Fixátor jako celek by měl splňovat podmínku jednoduché montáže a životnosti komponentů.

4.3.1 Hlavní nosná část

Kruhy

Kruhy jsou jedním z nejdůležitějších prvků, protože jsou na nich upnuty všechny podpůrné elementy, jako jsou upínky a objímky. Kruhy u fixátorů dolních končetin se vyrábí v základních velikostech (140 mm, 160 mm, 180 mm, 200 mm, 220 mm), ale mohou být i nastavitelné nebo dělené.



Obr. 4.5 - Kruh firmy Prospon[7]

4.3.2 Držáky podpůrných elementů

Držáky podpůrných elementů plní dvě funkce: k upnutí hřebů a drátů a k samotnému upnutí ke konstrukci fixátoru. Pevné spojení je dosaženo skupinou utahovacích šroubů.[4]

Svorky

Slouží pro připojení Schanzových šroubů k trubce nebo tyči. Na Obr. 4.6 můžeme vidět provedení svorek od firmy Synthes, která jako materiál použila titanovou slitinu. Jedná se o samo přidržovací zacvakávací kombinační svorku pro Schanzovy šrouby o průměru 4 až 6 mm.[8]



Obr. 4.6 - Svorka Schanzových šroubů [8]

Různá konstrukční provedení svorek se používají také pro polohování a upínání nosných tyčí.



Obr. 4.7 - Svorka nosných tyčí [8]

Upínky

Upínky jsou důležitou součástí, protože spojují kruh fixátoru s Kirschnerovými dráty. Katedra výrobních strojů a konstruování VŠB-TUO vyvinula upínku, která je jednoduchá na výrobu a umožňuje nastavitelnost drátu na kruhu. Tvar a konstrukce upínky se odvíjí od tvaru kruhu fixátoru.



Obr. 4.8 - Upínka vyvinutá VŠB-TU Ostrava [9]

4.3.3 Vlastní podpůrné elementy

Existuje mnoho konstrukčních provedení šroubů a drátů, které podle způsobu použití dělí fixaci na jednostranně a oboustranně podepřenými nosníky a na prostorově probíhající v jedné nebo více rovinách. [4]

Tyto elementy jsou v přímém kontaktu s tkání, a proto jsou na ně kladeny požadavky z hlediska konstrukce k minimalizaci infekce. Jsou důležitým prvkem v sestavě fixátoru, protože zajišťují stabilitu připojení fixátoru k části těla pacienta. Do této skupiny patří především Schanzovy šrouby, Kirschnerovy dráty a hřeby.

Šrouby

K ustavení konstrukce fixátoru je použito samo vrtných a samořezných Schanzových šroubů, které jsou aplikovány přes kůži do kosti. Šroub je opatřen speciálním vrtem a konec je přizpůsoben tak, aby mohl být upnut do montážního zařízení. Nejpoužívanějším materiálem při výrobě šroubů je titan nebo nerezová ocel.



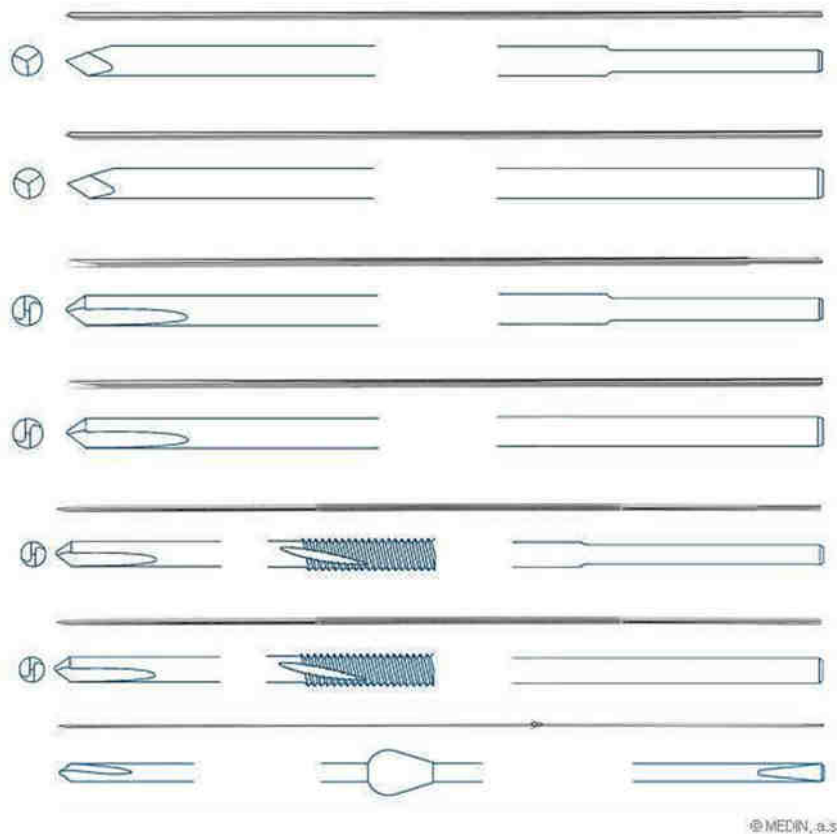
Obr. 4.9 - Schanzovy šrouby [5]

Dráty

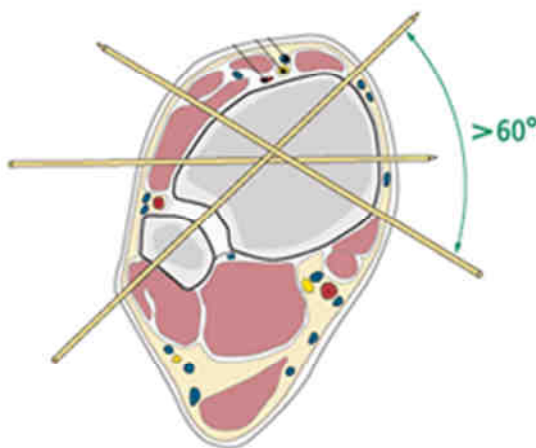
Dráty jsou důležitým prvkem při ustavování prstence. Dále jsou používány při uvedení úlomků a jejich stabilizaci v původní poloze. Jejich hlavní nevýhodou je vznik infekcí v oblasti kontaktu drátu a kůže. Pravděpodobnost vzniku infekce je asi 17 procent, a proto je nutná zvláštní péče v okolí kontaktu.[10]

Bezpečné umístění drátů v kosti je zpravidla 60 až 80° pro zaručení stability fixátoru. Pro zlepšení stability se zavádí třetí drát do kosti.[11]

Na Obr. 4.10 jsou ukázány různé konstrukční provedení drátů, které jsou na konci opatřeny trojbokým jehlanem nebo plochou a šroubovou drážkou. Opačný konec drátu je buď válcový, nebo s ploškami pro upnutí. Na dřívku drátu se mohou vyskytovat výstupky sloužící k zachycení drátu v kosti.[1]



Obr. 4.10 - Schéma provedení Kirschnerových drátů [1]



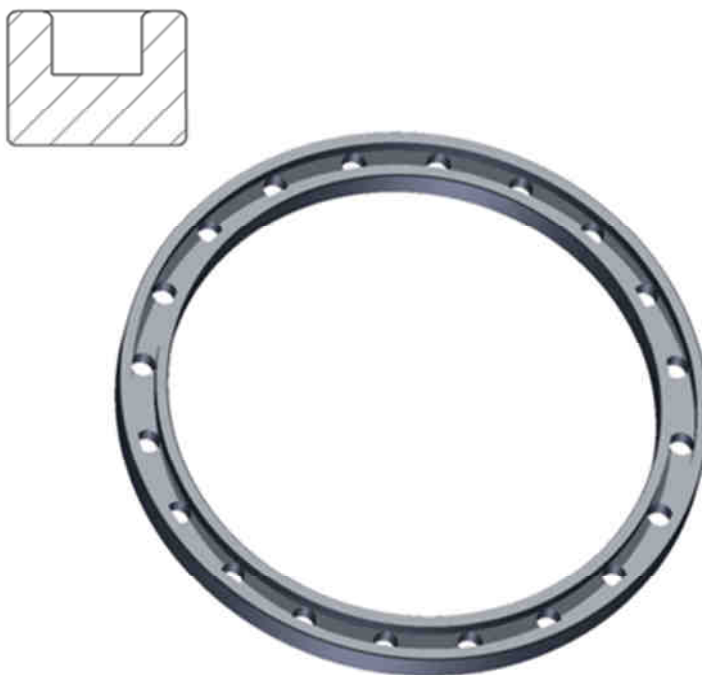
Obr. 4.11 - Schéma umístění drátů v kosti [11]

5. VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Vlastní řešení je popisováno etapami samotného vývoje jednotlivých konstrukčních prvků fixátoru. Všechny komponenty a sestavy jsou modelovány v programu Autodesk Inventor 2012.

5.1 Uchycení nosných tyčí

Prvním krokem konstruování, byl návrh kruhu o vnitřním průměru 200 mm. Jedná se o standartní průměr používaný u fixátorů pro dospělého člověka. Od tvaru a samotného průřezu kruhu se odvíjí uchycení zařízení pro upnutí nosné tyče vyrobené z kompozitního materiálu.



Obr. 5.1 - Návrh kruhu s otvory

Kruh má průřez tvaru U a je opatřen otvory pro upevnění uchycení nosných tyčí. Všechny vnější hrany kruhu jsou zaobleny, aby nedocházelo k diskomfortu při manipulaci. Kruh je dále opatřen dvaceti dírami pro uchycení podpůrných elementů.

5.1.1 Varianta 1

Varianta byla navržena pro části vyrobené z kovových materiálů. K zajištění polohy tzn., pod jakým úhlem bude upnutá uhlíková tyč směřovat, jsem navrhl rychloupínací matici. Pro samotné upnutí tyče z kompozitu byl zvolen křídlatý šroub M4 x 16 ČSN 02 1365.0, který se projevil jako nevhodný z hlediska členitosti tvaru a příliš velkého zásahu do prostoru.



Obr. 5.2 - První varianta upnutí nosné tyče

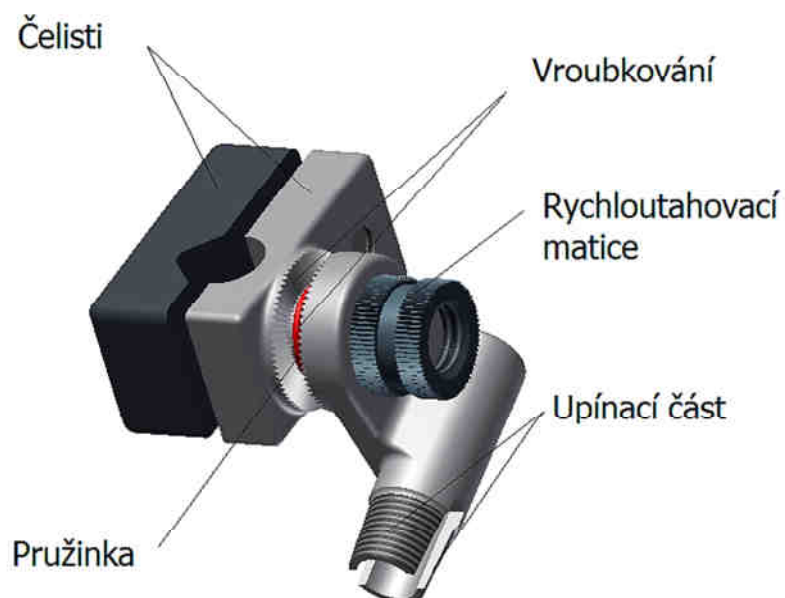
Upevnění na kruhu (Obr. 5.3) je dosaženo šroubovým spojem, který se skládá z matice M10 x 1 ČSN EN ISO 4032, podložky ČSN EN ISO 7089 a samotného šroubu, který je součástí upínky. Další jeho nevýhodou byla možnost jednoduché manipulace ze strany pacienta, což je nežádoucí. Volba kovového materiálu u komponentů by omezovala viditelnost poškozené kosti pod rentgenovým zářením. Pokud by bylo použito většího počtu upínek, narostla by i hmotnost fixátoru. Pro velké množství nevýhod byla tato varianta vyloučena.



Obr. 5.3 - Upevnění upínky na kruhu

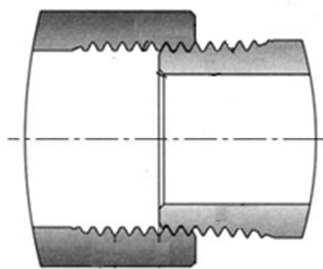
5.1.2 Varianta 2

Druhá varianta již obsahuje kombinaci komponentů vyrobených z kompozitu a kovových materiálů. Na komponentech, vyrobených z kompozitu, nejsou vhodné podmínky pro vytvoření metrického závitu, a proto bylo nutné použít nerezového kovového materiálu. Na Obr. 5.4 je vidět druhá varianta návrhu uchycení nosné tyče.



Obr. 5.4 - Druhá varianta upínky tyče s popisem

Mechanismus natáčení upínky funguje tak, že při utažení rychloupínací maticí se pružinka stlačí a vroubkování obou součástí do sebe zapadne. Vroubkování umožňuje nastavení úhlu po 5° a zároveň zamezuje samovolnému otáčení části pro upnutí nosné tyče. Při odtažení matice dojde k roztáhnutí pružinky a následné oddálení obou částí. Uspadňuje se tím tak polohování a demontáž tyče. Ustavení tyče v upínce je docíleno zašroubováním rychloupínací matice do kuželového závitu a tím stažení upínací části upínky jak je vidět na Obr. 5.5, kde větší součást při zašroubovávání stlačuje součást menší.



Obr. 5.5 - Schéma kuželového závitu[5]

K upevnění upínky nosné tyče na kruh jsem navrhl kovovou hřídel, která je ke kruhu připevněna stejným způsobem jako u první varianty. Výhodou je pohyb v ose Y oproti předešlé variantě.



Obr. 5.6 - Upevnění druhé varianty na kruhu

5.1.3 Varianta 3

Třetí varianta se liší od předešlých dvou úplně odlišným návrhem kruhu. Ten disponuje celistvým průřezem ve tvaru T bez otvorů, které nezeslabují konstrukci, a umožňuje pohyb držáků podpůrných elementů po celém jeho obvodu.



Obr. 5.7 - Návrh kruhu bez otvoru

Na Obr. 5.8 se jedná pouze o koncept, u kterého dojde v dalších fázích vývoje k různým modifikacím vztahující se k funkčnosti a volbě materiálu.



Obr. 5.8 - Koncept upínky nosné tyče

Vzhledem k tomu, že nelze do plastických hmot nebo uhlíkových komponentů vytvářet metrický závit, bylo nutné vlepení šestihranných nerezových vložek opatřených dírou s vnitřním metrickým závitem. V místě kontaktu dřívku šroubu a zvoleným materiálem jsou vlepeny nerezové válcové vložky.

Pro lepené spoje jsem zvolil konstrukční lepidlo s označením IA A 4545. Jedná se o dvousložkové lepidlo kombinující vysokou pevnost a teplotní odolnost. Je schopno lepit různé druhy kovů, uhlík, sklo, plasty a mnoho dalších materiálů. Lepidlo je odolné vůči teplotám až 200°C, pevnost v tahu na stříh se pohybuje od 16 do 22 N/mm² a jeho hlavní a nejdůležitější vlastností je nerozpustnost ve vodě. [12]



Obr. 5.9 - Konečný návrh upnutí nosné tyče

Třetí varianta je navržena s minimálním použitím kovových částí, disponuje variabilním nastavením nosné tyče a nízkou hmotností. Všechny válcové hlavy šroubů jsou zapuštěny v konstrukci, aby nedocházelo k nežádoucímu kontaktu s těmito částmi při manipulaci a používání fixátoru.

5.2 Uchycení drátů

Kruh s průřezem T byl mnou zhodnocen jako nejvíce vyhovující varianta, a proto se od jeho tvaru odvíjí následující součásti hybridního fixátoru. Prvotní prototyp uchycení drátu je vidět na Obr. 5.10. Jde pouze o návrh, který je založen na dvou odlišných částí svírající kruh fixátoru. Uchycení drátu je zde řešeno šroubem a vložkou s otvorem, kterým se prostrčí drát a při utažení šroubu dosedne na plochu upínky.

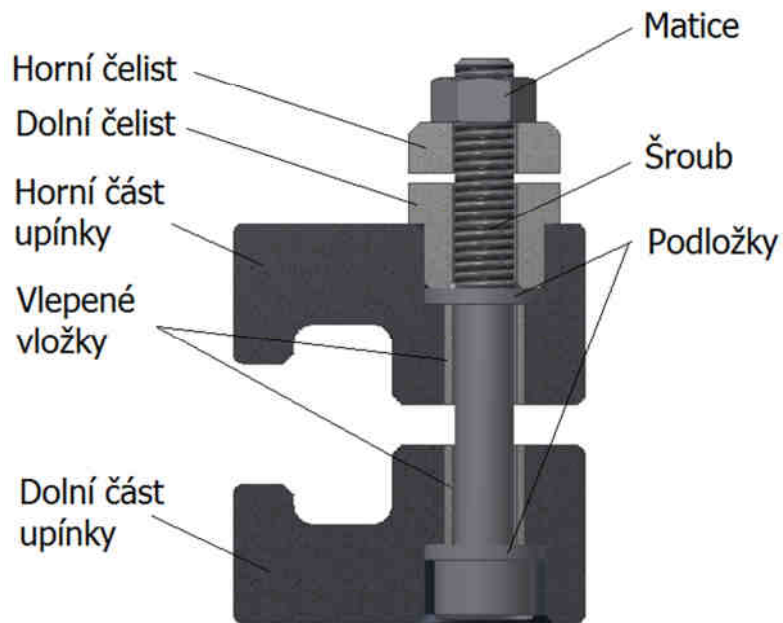


Obr. 5.10 - Koncept uchycení drátu

Koncept návrhu se ukázal být z ekonomického hlediska nevhodný, protože by muselo dojít k výrobě dvou odlišných částí, a proto muselo dojít k unifikaci dílů. Z tohoto důvodu jsem použil jeden díl čelisti a navrhl pro něj úpravy na upnutí drátu.

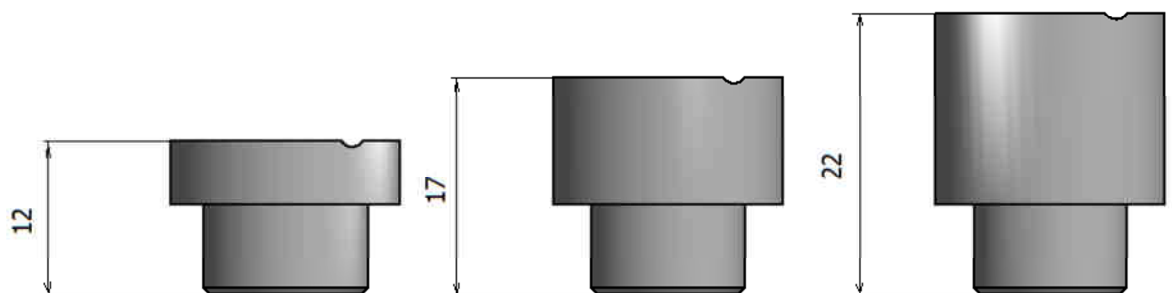


Obr. 5.11 - Konečný návrh upnutí drátu



Obr. 5.12 - Upínka drátu v řezu s popisem

Otvor v čelistech upínky slouží k zapuštění hlavy šroubu a zároveň pro kovovou vložku použitou k ustavení Kirschnerova drátu. Aby nedošlo ke kontaktu drátů v kosti, musí být dráty umístěny mimoběžně. Mimoběžného umístění se dosáhne buď otočením upínky na kruhu fixátoru, nebo použitím různých velikostí dolní části čelisti drátu, jak je vidět na Obr. 5.13. Při sestavování modelu jsem zvolil otočení jednoho páru upínek.



Obr. 5.13 - Různé velikosti upínací vložky

5.3 Návrh uchycení Schanzových šroubů

K úplnému dokončení celé konstrukce fixátoru už jen zbývá návrh řešení upnutí Schanzových šroubů, které dá konečnou podobu fixátoru. Při navrhování vycházím z modelu na Obr. 5.14. Se všemi elementy upínání je možno pohybovat po celém obvodu kruhu bez jakéhokoliv omezení.



Obr. 5.14 - základní model konstruování

Z běžně vyráběných dílů použiji Kirschnerovy dráty s válcovým koncem, předepsanou katalogovou délkou $l = 300$ mm a průměru $d = 2$ mm od firmy Medin a.s.

Firma Synthes disponuje širokým rozměrovým výběrem podpurných elementů, a proto jsem volil produkty z katalogu této firmy. Schanzovy šrouby vyrobené z titanu, vnějším průměrem $d = 5$ mm, délkou $l = 175$ mm a délkou závitů $l_z = 50$ mm. Tyče z uhlíkových vláken, které jsem rovněž volil dle stejného katalogu, s průměrem $d = 8$ mm a katalogovou délkou tyče $l = 280$ mm a délky $l = 220$ mm. [13]

5.3.1 Varianta 1

Při formování první varianty jsem uvažoval o návrhu jednoho nosného tělesa, do kterého se uchytí Schanzovy šrouby. Řešením uchycení hlavních nosných podpůrných prvků, jimiž jsou tyče vyrobené z uhlíkových vláken, je použití upínky upevněné přímo na válcovém konci Schanzových šroubů



Obrázek č. 5.15 - Model první varianty uchycení Schanzových šroubů

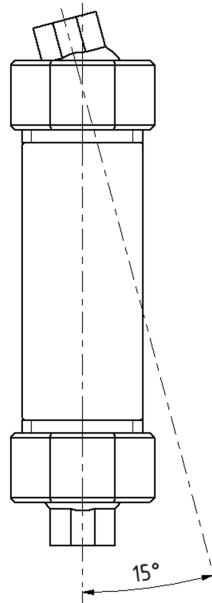
Hlavní nosné těleso se skládá z dvou částí, které jsou spojeny pomocí šroubu se dvěma dříky opatřenými levotočivým a pravotočivým závitem. Šroub zároveň slouží k oddalování horní kloubové části a spodní upínací části pomocí klíče. Při montáži doporučuji použít posuvný klíč s nastavením vzdálenosti čelistí z důvodu výskytu většího množství rozměrů matic. Na celé sestavě je požita jediná velikost metrického závitu šroubu s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a to M6. Nosné těleso je uchyceno na kruhu pomocí speciální upínky, u které byly použity unifikované komponenty.

Uchycení nosné části je vidět z různých pohledů na Obr. 5.16. Upínka je opatřena ve spodní části dvěma maticemi vlepenými do konstrukce namísto vložek se závitem. Tvar matice zároveň zamezuje otáčení při utahování šroubového spoje.



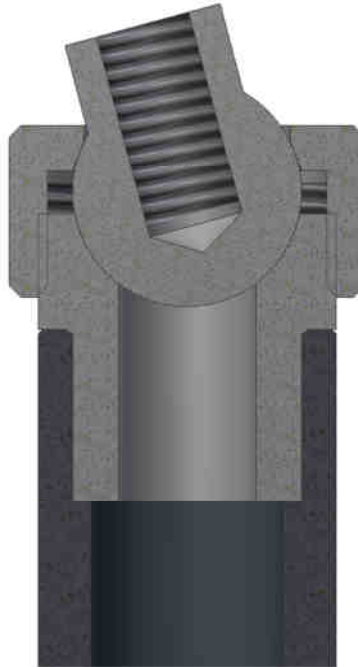
Obr. 5.16 - Detail upínky pro uchycení nosné části

Horní část nosného tělesa je tvořena dvěma klouby pro natáčení v rozmezí 15° jak je vidět na Obr. 5.17. Klouby jsou opatřeny dírou se závitem. Velikost úhlu jsem zjistil při použití funkce dotykové sady v modelovacím programu, která zamezuje kolizi dvou součástí.



Obr. 5.17 - Schéma možnosti pootočení kloubu

Pojištění kloubu je řešeno utažením matice a tím přitlačení kloubu na stěny kloubové jamky. Princip mechanismu upevnění kloubu je znázorněn na Obr. 5.18. Kloubová jamka je vlepena v trubce za použití zvoleného lepidla (IA A 4545).



Obr. 5.18 - Řez nosného tělesa s kloubem

Dolní část se skládá ze dvou komponent tvořící svěrný spoj pro ustavení Schanzových šroubů. Vzdálenost šroubů je volena v rozmezí 40 - 60 mm. Tato doporučená vzdálenost je nutná z důvodu zamezení vzniku infekce a předejití tak možným problémům a komplikacím při samotné rehabilitaci pacienta v době užívání fixačních prostředků.[4]



Obr. 5.19 - Dva druhy ustavení Schanzových šroubů

První konstrukční řešení ukazuje uchycení ze zvoleného transparentního materiálu a u druhého řešení je použita kovová destička. Díky kloubovému uchycení spodní části nosného tělesa lze umístit Schanzovy šrouby do kosti pod maximálním úhlem 15° . Připevnění uhlíkových tyčí ke šroubům je docíleno upínkou fungující na stejném principu jako u fixátoru XCaliber.

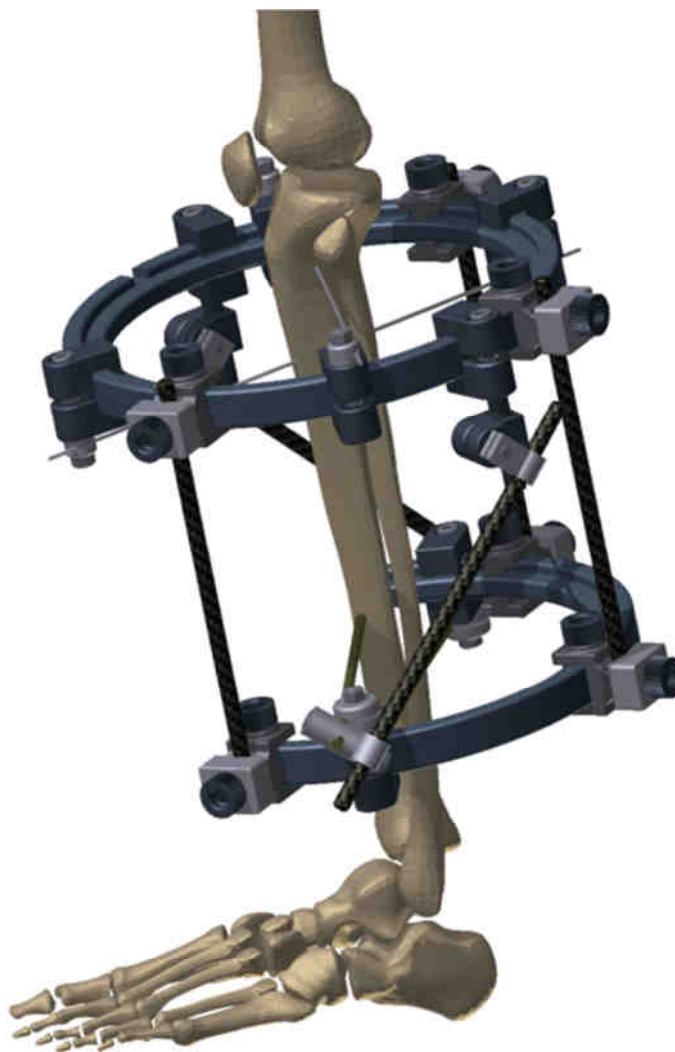


Obr. 5.20 - Upínka pro spojení uhlíkové tyče a šroubu

Výhodou této varianty je možnost oddalování, které umožňuje prodlužování poškozené kosti a navrácení tak její původní délky. Další z výhod je možnost aplikace šroubu pod úhlem. Hlavní nevýhodou je množství kovových komponent v oblasti porušení kosti a z toho plyne, že rentgenový snímek není zcela „čistý“. Sestavení je obtížnější z důvodu velkého počtu náradí a součástí. Vzhledem k těmto nevýhodám byla vytvořena varianta druhá.

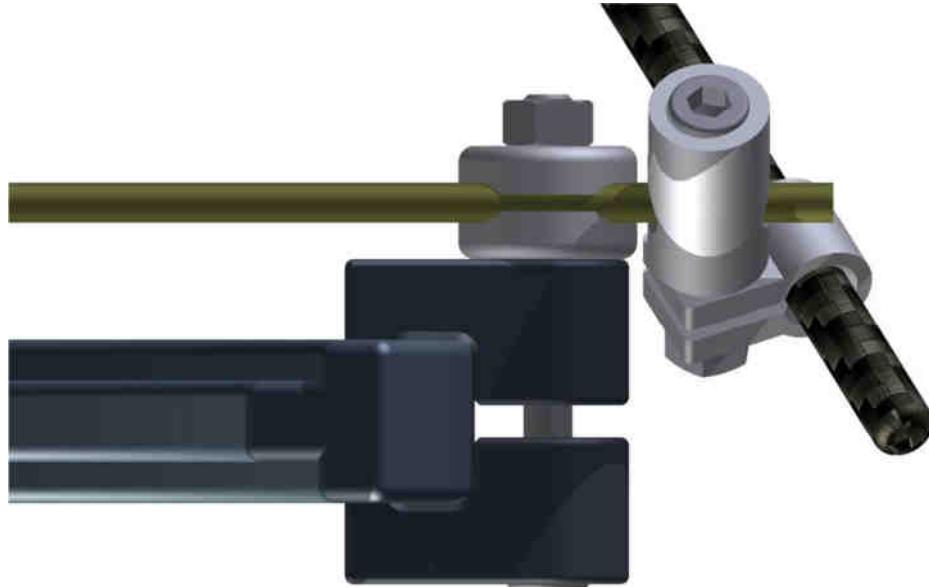
5.3.2 Varianta 2

Ke konstrukci druhé varianty jsem přistupoval jiným způsobem a od toho se odvíjí i samotné konstrukční řešení. Místo navrhování nosných těles jsem použil normalizované uhlíkové nosné tyče jako podpěry a jako tělo fixátoru, který drží vlastní podpůrné elementy ve spodní části, jsem zvolil částečný kruh s vnitřním úhlem 220° a stejného průřezu jako u horní části fixátoru. V sestavě je použito celkem pět tyčí z uhlíkových vláken o délce 220 mm, které zajišťují stabilitu fixátoru. Vertikálně umístěné tyče jsou přichyceny ke kruhu za pomoci rychloupínací upínky vyrobené z termoplastického materiálu viz. Příloha C/4. Zbylé dvě jsou uchyceny pod úhlem ve spodní části přímo na Schanzových šroubech a v horní části pak na upínce s možností natáčení uchycení. Vzhled fixátoru s hlavními rozměry je ukázán na Obr. 5.21.



Obr. 5.21 - Druhá varianta hybridního fixátoru

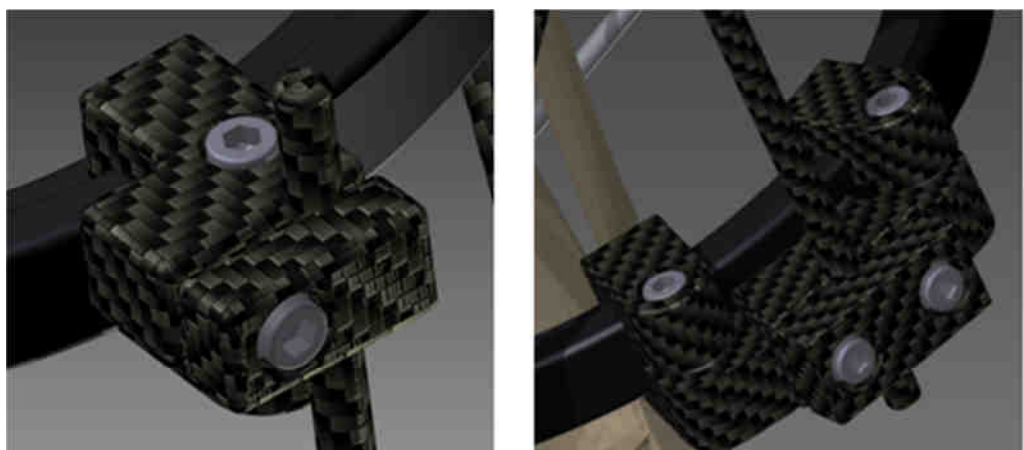
Pro upnutí Schanzových šroubů na kruhu jsem použil upínku stejného typu jako je vidět na Obrázku č. 5.11 s tím rozdílem, že vložky, pro uchycení drátu, byly nahrazeny dvěma kovovými čelistmi s válcovou jamkou, které jsou k sobě přitahovány maticí (viz. Obr. 5.22).



Obr. 5.22 - Princip upnutí Schanzových šroubů

Použitím tohoto řešení uchycení Schanzových šroubů, které umožňuje pohyb po kruhu a tím i po obvodu dolní končetiny, odpadá nutnost pravidla umístění šroubů v rozmezí 40 až 60 mm a dává nám tak větší prostor pro aplikaci šroubů do kosti. Uhlíková tyč je spojena se šroubem pomocí upínky jako u první varianty.

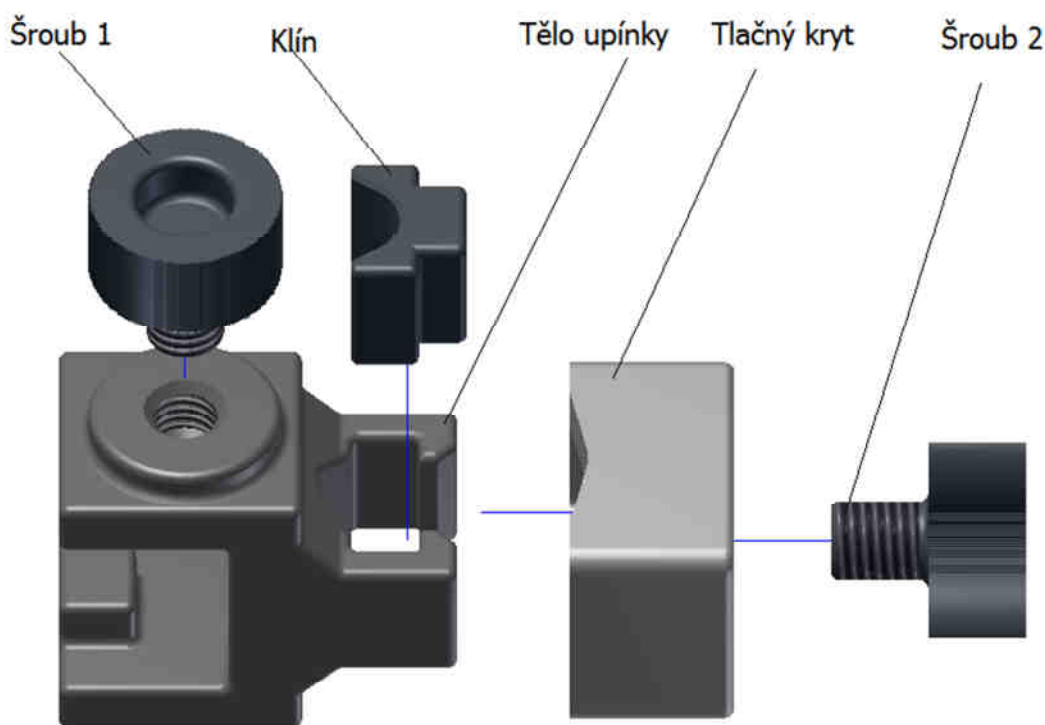
Navrhování, mechanismu upnutí vertikálně směřující uhlíkové nosné tyče, bylo jednou z nejdůležitějších fází, protože tyč slouží jako hlavní opěrný prvek. Z tohoto důvodu si upnutí prošlo několika etapami vývoje, které jsou vidět na Obr. 5.23.



Obr. 5.23 - Ukázka etap vývoje upnutí vertikální tyče

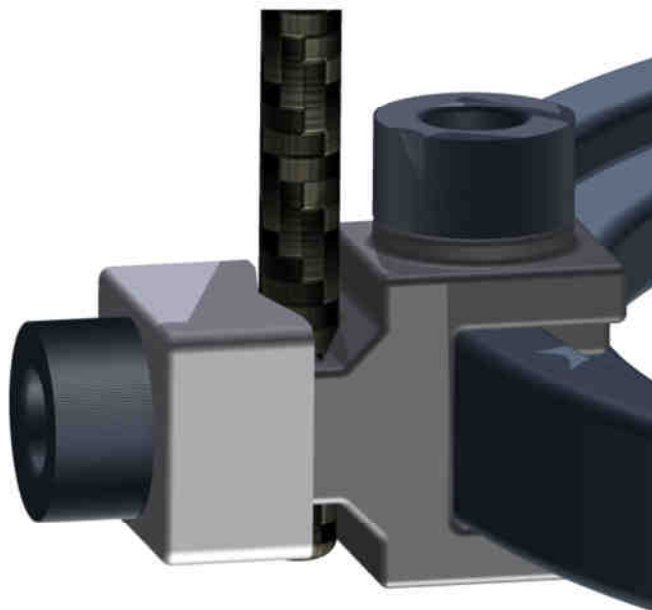
Vzhledem k nevýhodám předešlých variant upnutí vertikální tyče, které nebyly zcela dokonalé a obsahovaly velké množství šroubů, z čehož plyne i zdoluhavý čas sestavení, bylo nutné vytvořit řešení s jednoduchou montáží.

Na Obr. 5.24 je znázorněn rozpad mechanismu konečného upnutí tyče. Prvním krokem sestavení je vsunutí klínu, který obsahuje oblý závit, do těla upínky. Aby klín nevypadl, nasadí se tlačný kryt. Šroub 2 se nasadí do tlačného krytu a zašroubuje do klínu. Jak se utahuje šroub 2, tlačný kryt se posouvá a tlačí na uhlíkovou nosnou tyč, čímž se zafixuje. Proto, aby tělo upínky mohlo být nasazeno na kruh, bylo nutné vytvořit v kruhu dvě protilehlé drážky. Šroub 1 slouží jako pojištění proti posunutí upínky na kruhu.



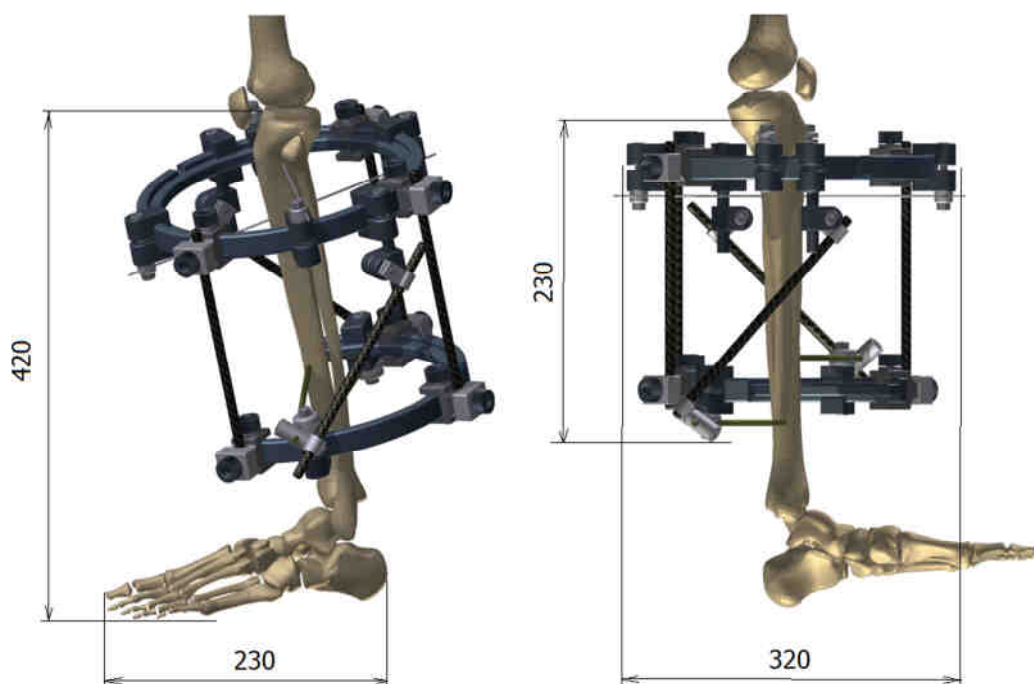
Obr. 5.24 - Konečné řešení upnutí uhlíkové tyče

Konstrukce fixátoru je navržena pro fixaci úlomků a zajištění stabilizované polohy samotné kosti. Vzhledem k použitým materiálům všech částí je omezena nosnost fixátoru. Z tohoto důvodu je doporučeno minimální zatěžování fixátoru.



Obr. 5.25 - Detail uchycení tyče

Prototyp hybridního fixátoru druhé varianty používaný pro zachycení úlomků a zajištění stability lýtkové kosti dává lepší možnost kontroly poraněné dolní končetiny díky nízkému výskytu kovových komponentů v oblasti zlomeniny. Díky použití malého počtu kovových částí je hmotnost nižší, než u kovových verzí hybridního fixátoru. Varianta je navržena bez napínacího zařízení, které má za úkol oddalování kruhů a složí pouze pro fixaci částí kosti. Hlavní rozměry kosti a fixátoru jsou ukázány na Obr. 5.26.



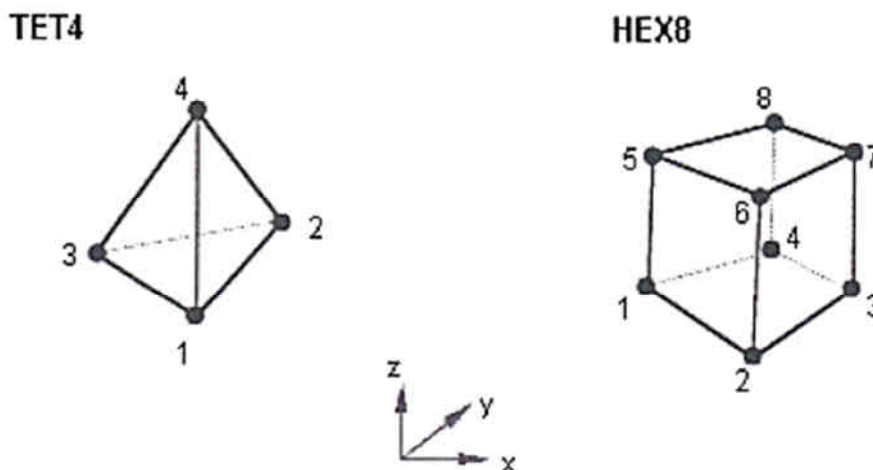
Obr. 5.26 - Sestava fixátoru s hlavními rozměry

6. PEVNOSTNÍ ANALÝZA

K získání hodnot napětí a deformací pomocí metodou konečných prvků je nutné vytvořit model. Vymodelovaná součást je vytvořena v programu Autodesk Inventor 2012 a následně podrobena analýze v programu ANSYS Workbench 14.0. Analýza nám dává přesnější informace o kriticky namáhaných místech prototypu.

Principem metody konečných prvků (MKP) je rozložení zkoumaného tělesa na elementy nebo také konečné prvky, které jsou zatíženy, což vede k řešení soustav rovnic popisující model, jeho vlastnosti a zatížení. [16]

Velikost prvků sítě u všech pevnostních analýz je 2 mm, u zkoušené části je síťování o velikosti elementu 1 mm.



Obr. 6.1 - Použité elementy síťování [5]

6.1 Pevnostní analýza kruhu

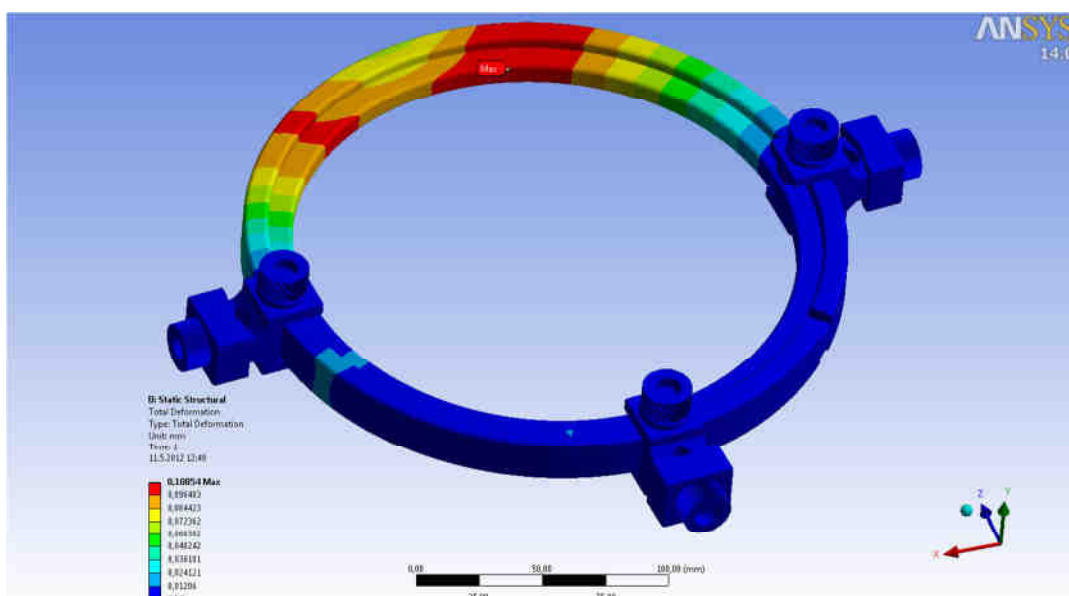
Kruh je analyzován pro zjištění maximální deformace silou vyvolanou při předeptí drátů. Prvním krokem je příprava modelu. Zpracovaný model je následně převeden do programu ANSYS, kde je součástí nadefinován materiál. Hodnoty potřebné k definici materiálu uhlíkového vlákna jsou uvedeny v Příloze C/1.

Vazby

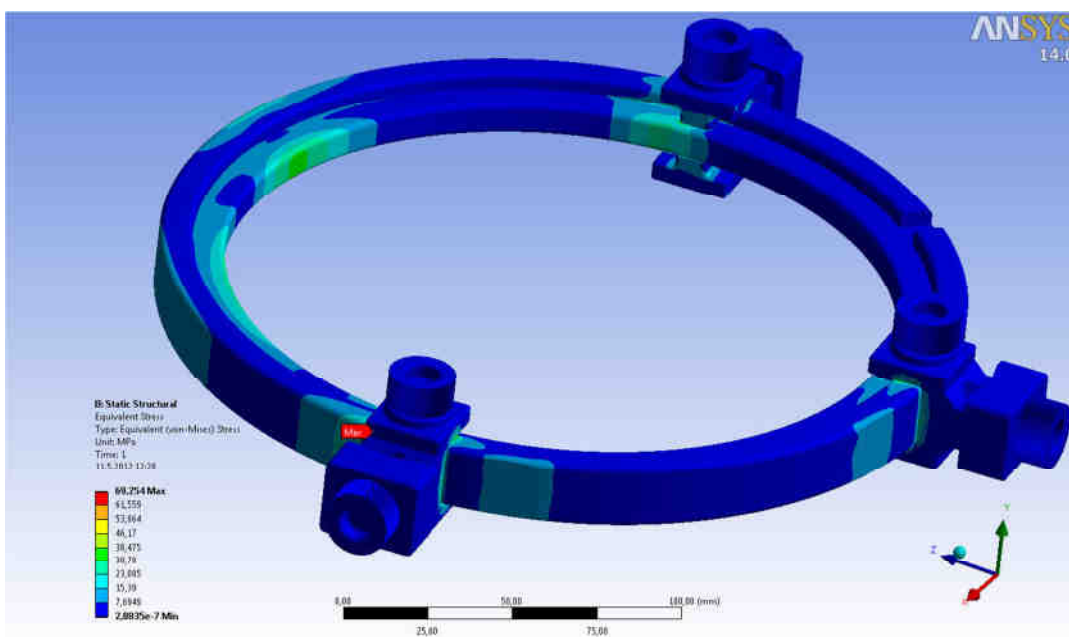
Podpory jsou umístěny na plochách upínky svírající vertikálně uložené uhlíkové tyče.

Zatížení

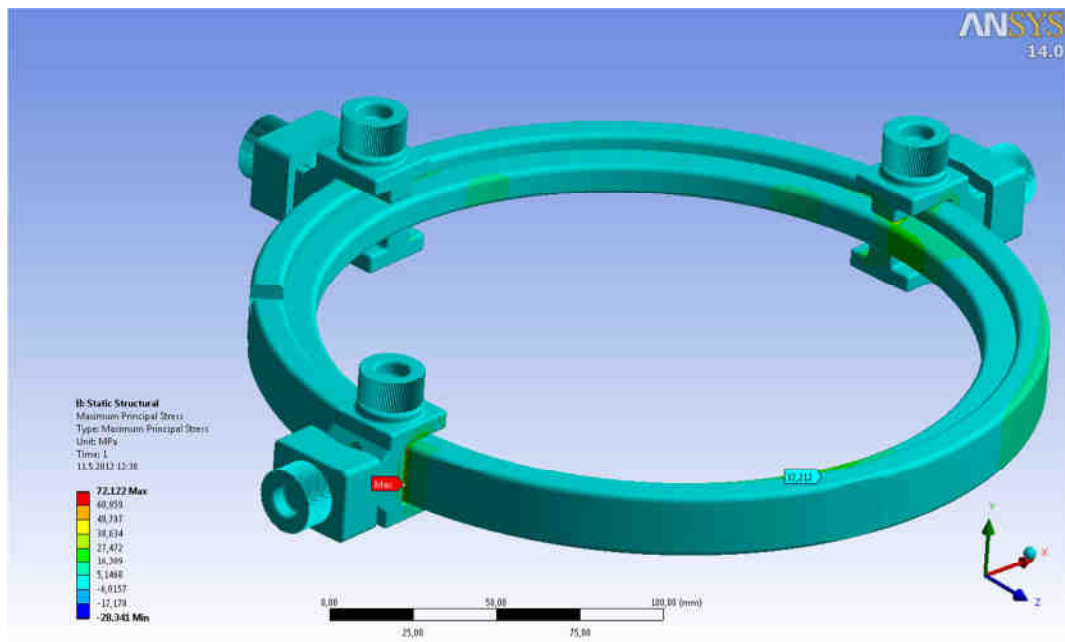
Kruh je zatížen čtyřmi silami v místech upínek o velikosti 1500 N. Síly směřují do středu kruhu pod úhlem 60° .



Obr. 6.2 - Deformace kruhu



Obr. 6.3 - Maximální napětí (Von Mises)



Obr. 6.4 - Maximální napětí na kruhu

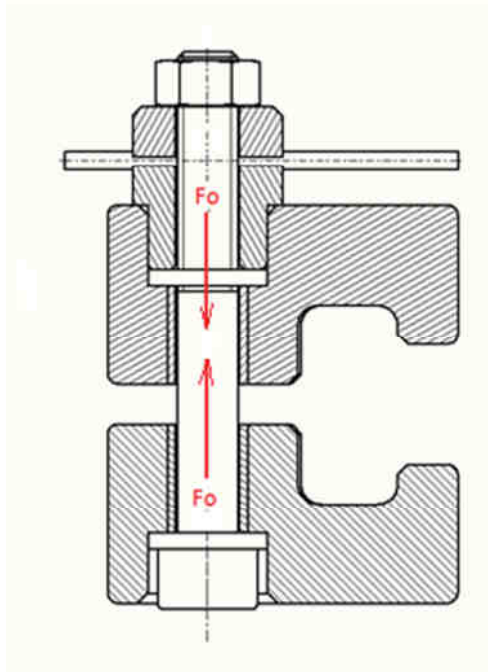
Maximální posunutí kruhu je 0,10 mm v místech nejvíce vzdálených od podpěr. Toto posunutí bylo mnou vyhodnoceno jako nepatrné. Dle metody Von Mises je maximální redukované napětí 69,253 MPa v místě, kde je umístěná podpěra. Maximální napětí se objevilo pod upínkou uhlíkové tyče a jeho hodnota je 72,122 MPa.

Pevnostní analýza kruhu			
Druh analýzy		Výsledek	Jednotka
Maximální posunutí	Δ_{MAX}	0,108	[mm]
Maximální napětí	σ_{MAX}	72,122	[MPa]
Maximální napětí	$\sigma_{MAX} (HMH)$	69,253	[MPa]

Tab. 6-1 Výsledky pevnostní analýzy kruhu

6.2 Pevnostní analýza upínky

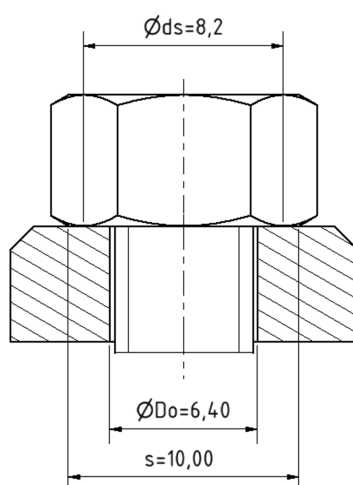
Abych mohl provést pevnostní analýzu upínky, simulující zatížení při utahování šroubu, musel jsem vypočítat osovou sílu působící ve šroubu.



Obr. 6.5 - Osová síla působící ve šroubu

Výpočet

K výpočtu je potřeba vstupních parametrů, jako jsou rozměry matice, rozměry závitu, díry a součinitel smykového tření.



Rozměry závitu M6 : $P_h = 1 \text{ mm}$

$$d_2 = 5,35 \text{ mm}$$

$$d_3 = 4,773 \text{ mm}$$

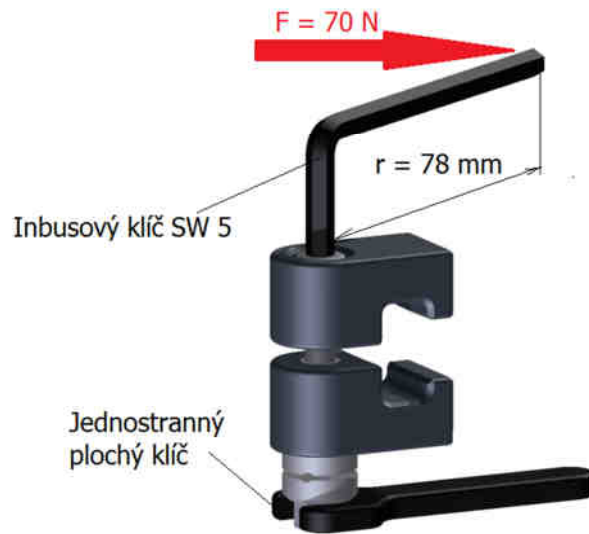
$$\alpha = 30^\circ$$

Součinitel smykového tření: zvolen dle [17]

$$f_m = 0,2$$

Obr. 6.6 - Schéma šroubového spoje upínky

Pro určení utahovacího momentu jsem musel zjistit rozměry imbusového. Sílu nutnou pro utažení jsem zvolil 70 N.



Obr. 6.7 - Schéma montáže upínky

$$M_u = M_z + M_m \quad [14]$$

$$M_m = F_o \cdot f_m \cdot \frac{d_s}{2} \quad [14]$$

$$M_u = F \cdot r \quad [14]$$

$$M_z = \frac{F_o}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \cdot d_2 \quad [14]$$

$$d_s = \frac{D_o + s}{2} = \frac{6,4 + 10}{2} = 8,2 \text{ mm} = 0,0082 \text{ [m]} \quad [14]$$

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{\pi \cdot 5,35}\right) = 3,404 \text{ [}^\circ\text{]} \quad [14]$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,2}{\cos 30^\circ}\right) = 13,003 \text{ [}^\circ\text{]} \quad [14]$$

$$F \cdot r = \frac{F_o}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \cdot d_2 + F_o \cdot f_m \cdot \frac{d_s}{2} \quad [14]$$

$$F_o = \frac{2 \cdot F \cdot r}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \cdot d_2 + f_m \cdot d_s} = \frac{2 \cdot 70 \cdot 0,078}{\operatorname{tg}(3,404 + 13,003) \cdot 0,00535 + 0,2 \cdot 0,0082} \quad [14]$$

$$F_o \doteq 3396 \text{ [N]}$$

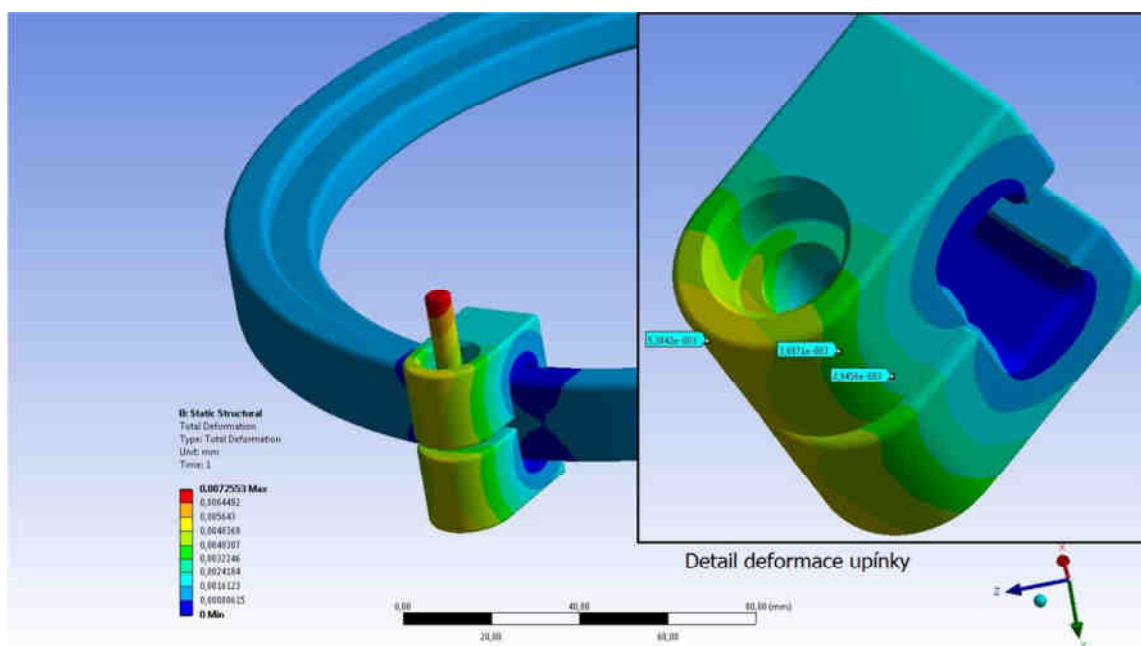
Vazby

Vazby jsou umístěny na částech upínky v místech uchycení ke kruhu fixátoru.

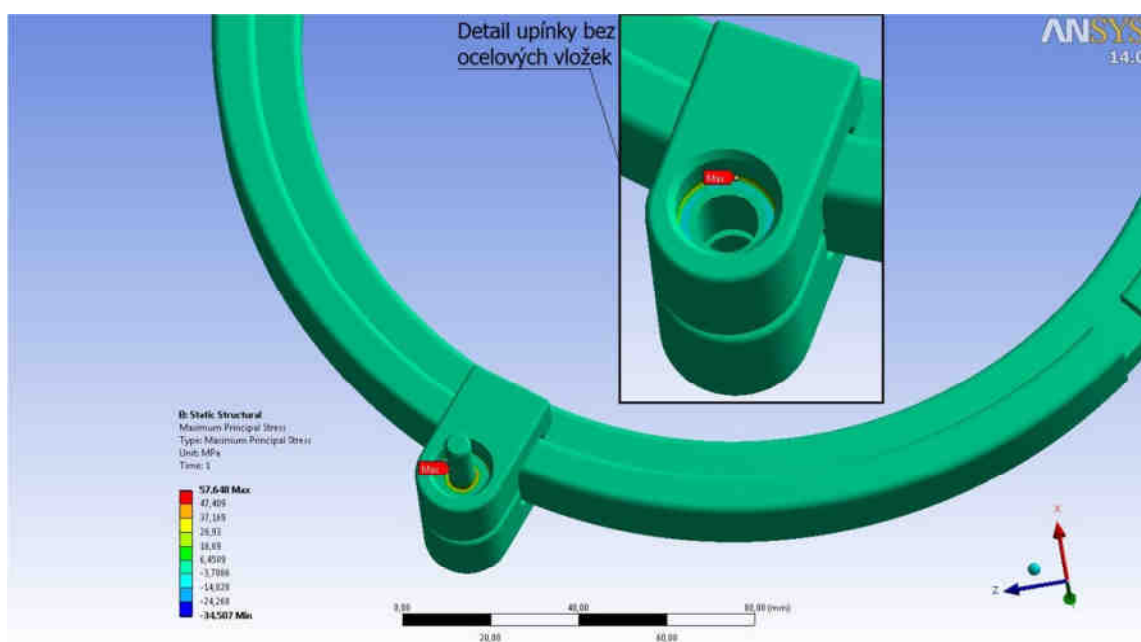
Zatížení

Zatížení jsem umístil na plochy podložek umístěné v díře upínky.

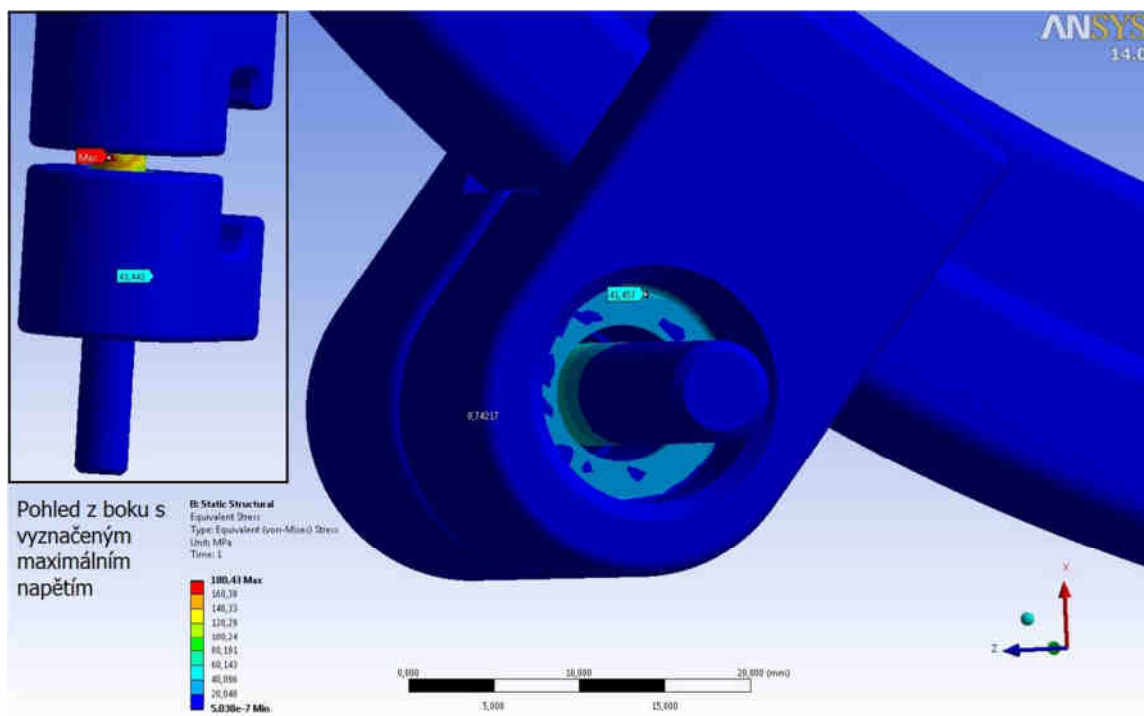
Výsledek



Obr. 6.8 - Celková deformace



Obr. 6.9 - Maximální napětí



Obr. 6.10 - Napětí dle metody Von Mises

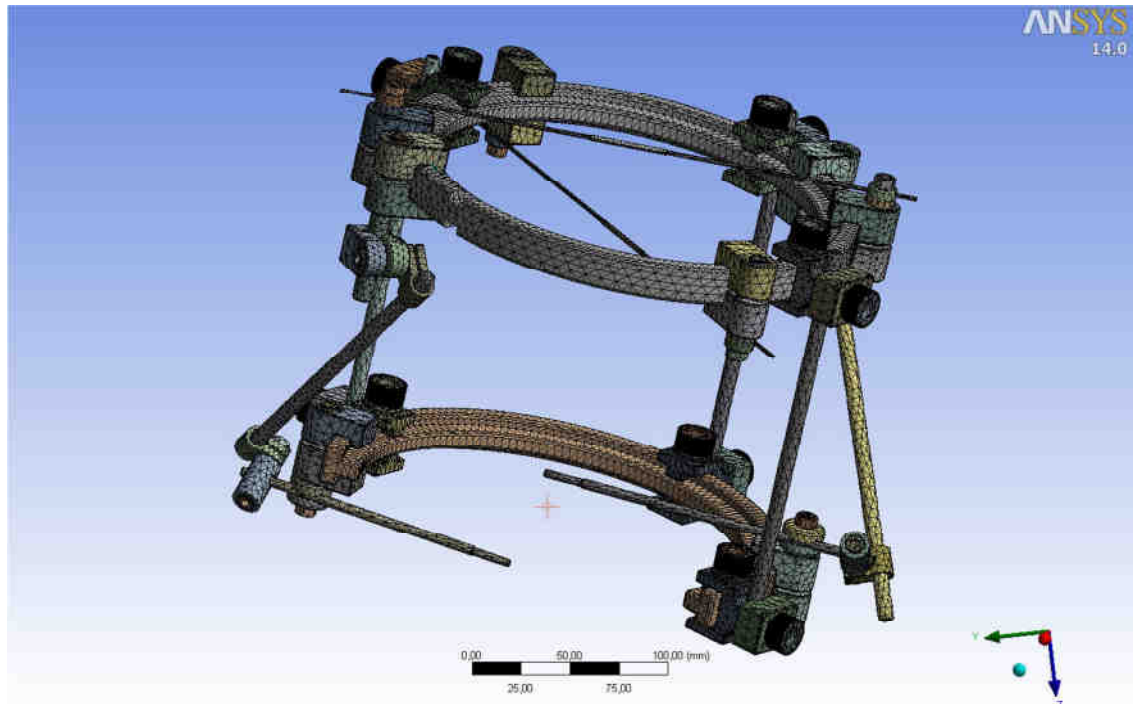
Maximální posunutí se vyskytlo na konci šroubu, samotná deformace upínky je v rozmezí 0,0016 až 0,0060 mm, jedná se tedy o nízkou hodnotu. Maximální napětí, pohybující se v rozmezí podle barevné stupnice od 26 do 40 MPa, se vyskytuje v místech změny průměru díry pro zapuštění hlavy šroubu. Ve výpočtu dle metody Von Mises se ukázalo místo uložení podložky jako nejvíce namáhané s hodnotou napětí do 50 MPa. Všechny hodnoty upínky jsou udávány v rozmezí z důvodu určení maximálních hodnot analýzy na šroubu.

Pevnostní analýza upínky		
Druh analýzy	Výsledek	Jednotka
Maximální posunutí Δ_{MAX}	0,001 až 0,006	[mm]
Maximální napětí σ_{MAX}	26 až 40	[MPa]
Maximální napětí σ_{MAX} (HMH)	do 50	[MPa]

Tab. 6-2 Výsledky pevnostní analýzy upínky

6.3 Pevnostní analýza sestavy

Při pevnostní analýze sestavy jsem vycházel z [4], kde kruhový fixátor zatížili silou o velikosti 600N. Na rozdíl od předešlých pevnostních analýz, kdy u síťování byla použita velikost elementu 2 mm, zde byla zvolena velikost síťování 4 mm z důvodu snížení náročnosti výpočtu sestavy takového rozsahu.



Obr. 6.11 - Vysíťovaný výpočtový model

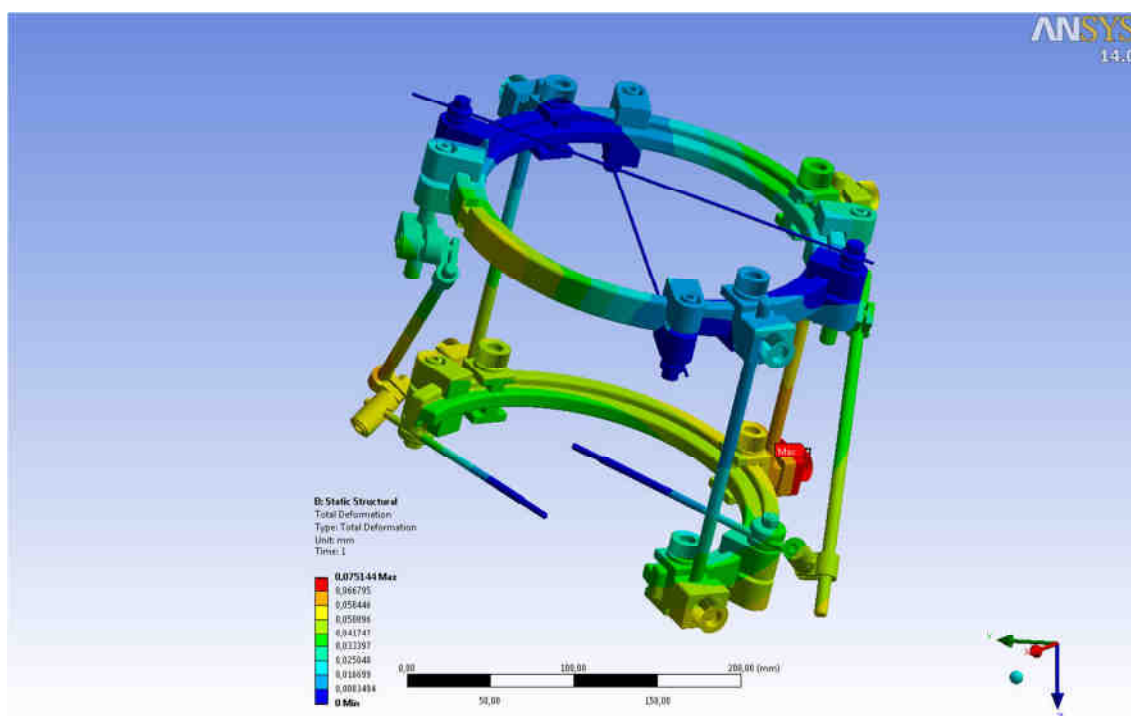
Vazby

První vazba je umístěna na Schanzových šroubech v místech závitů. Druhá vazba je umístěna na Kirschnerových drátech.

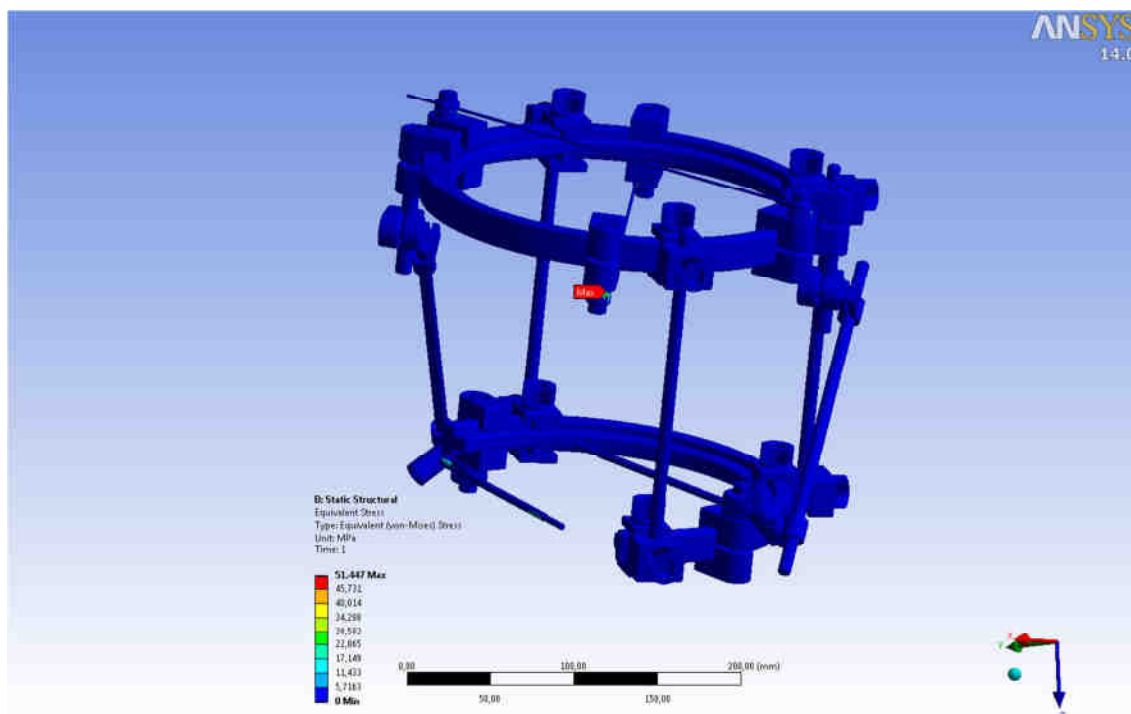
Zatížení

Zatížení o velikosti síly $F = 600 \text{ N}$ je umístěno na ploše horního kruhu.

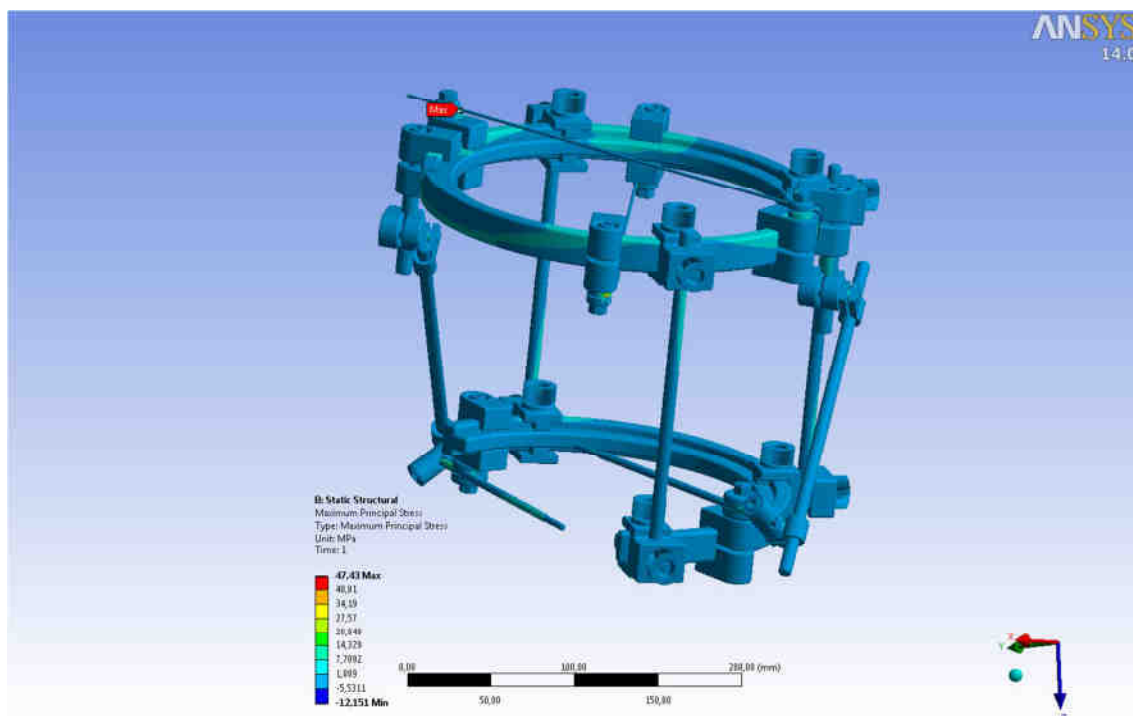
Výsledek



Obr. 6.12 - Deformace sestavy fixátoru



Obr. 6.13 - Napětí fixátoru dle metody Von Mises



Obr. 6.14 - Maximální hlavní napětí fixátoru

Při zatížení fixátoru silou $F = 600 \text{ N}$ bylo spočítáno maximální posunutí v místě upnutí uhlíkové nosné tyče v hodnotě $0,075 \text{ mm}$. Místo s největším hlavní napětím se nachází na čelistech svírající Kirschnerův drát a to $47,430 \text{ MPa}$. Pevnostní analýza metodou Von Mises ukázala místo s nejvyšší hodnotou napětí v místě uchycení upínky aplikované na spodní stranu horního kruhu v hodnotě $51,447 \text{ MPa}$. Všechny hodnoty jsou v tolerovaném rozmezí.

Síla, kterou byl prototyp fixátoru zatížen, a výsledky MKP analýz ukazují, že není doporučeno zatěžovat fixátor plnou vahou lidského těla dospělého člověka. A proto bych doporučoval rehabilitaci na lůžku nebo použitím francouzských holí.

Pevnostní analýza hybridního fixátoru			
Druh analýzy		Výsledek	Jednotka
Maximální posunutí	Δ_{MAX}	0,075	[mm]
Maximální napětí	σ_{MAX}	47,430	[MPa]
Maximální napětí	$\sigma_{\text{MAX}} (\text{HMH})$	51,447	[MPa]

Tab. 6-3 Výsledky pevnostní analýzy hybridního fixátoru

7. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala návrhem konstrukce vnějšího hybridního fixátoru používaného k léčbě komplikovaných zlomenin s použitím materiálů transparentních pod rentgenovým zářením. Na začátku práce je uvedeno rozdělení fixace, dále je v úvodu rozvedeny druhy zevní fixace a popis jednotlivých komponent nezbytných pro sestavení a použití vnějších fixátorů.

V další části je práce zaměřena na vlastní konstrukční řešení, které popisuje samotné etapy vývoje jednotlivých částí. Je zde popsán návrh mechanismus pro upnutí podpůrných tyčí vyrobených z uhlíkových vláken. První dva prototypy se ukázaly být nevhodné jednak z důvodu způsobu uchycení ke kruhu a dalším důvodem bylo řešení konstrukce v závislosti na materiálu. Další část je zaměřena na návrh uchycení Kirschnerova drátu za použití uhlíkových vláken. Výsledkem bylo navržení prototypu unifikované upínky, jejíž části byly použity u dalších návrhů držáků podpůrných elementů. V dalších kapitolách se práce zabývá návrhem a popisem prototypů určených pro uchycení Schanzových šroubů. Po vyloučení první varianty, kdy šrouby drželo jedno nosné těleso opatřené klouby a oddalovacím mechanismem z důvodu nevýhody velkého množství kovových částí v kontrolované oblasti, byl navrhnut prototyp vhodnějších vlastností vyrobený z termoplastického materiálu vyztuženého uhlíkovým kompozitem.

V poslední kapitole jsou vybrané varianty podrobeny pevnostnímu výpočtu pomocí metody konečných prvků a určení míst s největším napětím a deformacemi. Bylo zjištěno, že největší deformace při zatížení celého fixátoru se vyskytuje v oblasti uchycení nosné tyče umístěné v kolmém směru k Schanzovým šroubům. Všechny výsledky pevnostních analýz jsou zpracovány v tabulkách a jsou vyhodnoceny jako uspokojivé.

8. LITERATURA

- [1] Medin. MEDIN A.S. [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://www.medin.cz/>
- [2] *External Fixation* [online]. 2012 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.synthes.com/sites/NA/Products/Trauma/ExternalFixation/Pages/home.aspx>
- [3] Historie moderní léčby zlomenin. BARTONÍČEK, Jan. CHIRURGICKÁ KLINIKA 1. LF UK A FTN, Praha-Krč. *Zdravotnické noviny* [online]. 9.8 2012 [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://www.zdn.cz/clanek/zdravotnicke-noviny/historie-moderni-lecby-zlomenin-3-cast-453606>
- [4] ROZUM, Karel. VŠB-TU OSTRAVA. *Zevní fixátor pro léčbu otevřených nestabilních zlomenin: Tézé inaugurační přednášky*. Únor 2008. Ostrava: Vědecké spisy Fakulty strojní, 2008. ISBN 978-80-248-1670-8.
- [5] Google. *Obrázky* [online]. Neznámé [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.google.cz/imghp?hl=cs>
- [6] ORTHOFIX. *XCaliber Hybrid Fixator* [online]. Prosinec 2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://intl.orthofix.com/index.php/site/product/orthopedics/TibiaFootAnkle/ANKLE/Xcaliber%20Periarticular%20Hybrid%20Fixator>
- [7] Hybridní fixátor: Zevní fixátor kombinující UNI-FIX či PH-FIX s karbonovým kruhem. *Prospan* [online]. Neznámé [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: http://www.prospan.cz/index.php?lang=&module=produkty&sub_id=13&id=65&title=Hybridn%ED%20fix%20tor%20-%20Z%20kladn%ED%20popis%20apar%20tu
- [8] Operační postup a montáž. In: *Velké a střední vnější fixatéry* [online]. Neznámé [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.synthes.com/sites/intl/CZ/czech/Documents/126.000.237.pdf>
- [9] VŠB -TU OSTRAVA. *Zevní fixace* [online]. Ostrava, Neznámé [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://aplmech.vsb.cz/zevni-fixace/>

- [10] Zdravotnické noviny. PLEVA, Leopold. TRAUMACENTRUM FNŠP. [online]. Ostrava, 5. 10. 2001 [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://www.zdn.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/zevni-fixace-v-traumatologii-139343>
- [11] Reduction and fixation: Hybrid external fixation. *AO foundation: transforming surgery-changing live* [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.aofoundation.org/Pages/home.aspx>
- [12] Konstrukční lepidla. *HF Market: Lepidla, tmely, maziva* [online]. Neznámé [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.hfmarket.cz/cs/products/27-a-4545/>
- [13] *Zevní fixátory Synthes: Tyčové systémy a doplňky*. 2006, 5 s. Dostupné z: <http://www.synthes.com/sites/intl/CZ/czech/Documents/126.000.555.pdf>
- [14] NĚMČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: Spoje*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-1782-8.
- [15] *Využití kompozitních materiálů pro stavbu rámu jízdních kol*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Karel Nemec, Ph.d.
- [16] Metoda konečných prvků v lineární mechanice kontinua. *MKP a MHP* [online]. 2011, 2.1 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/metoda_konecných_prvku_a_hranicnich_prvku.pdf
- [17] KALÁB, Květoslav. Příloha. In: *Konstrukční návrh a výpočet ručního šroubového zvedáku: Vysokoškolská příručka* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/files/kal01/prirucka-sroubovyzvedak.pdf>
- [18] EUROINOS. *Korozivzdorné oceli - vlastnosti* [online]. neznámé [cit. 2012-05-11]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
- [19] *Optimalizace výroby pro letecký průmysl*. Brno, 2009. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18632. Diplomová práce. VUT-Brno.

- [20] LEINVEBER, Jan. ALBRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [21] *Victrex plc* [online]. 2011, 14. 6. 2011[cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.victrex.com/en/index.php>

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Výkresová dokumentace

Výrobní výkres 1 -	Čelist drátu
Výrobní výkres 2 -	Čelist drátu_2
Výrobní výkres 3 -	Čelist šroubu
Výrobní výkres 4 -	Klín
Výrobní výkres 5 -	Kruh
Výrobní výkres 6 -	Kruh spodní
Výrobní výkres 7 -	Objímka část_1
Výrobní výkres 8 -	Objímka část_2
Výrobní výkres 9 -	Šroub_1
Výrobní výkres 10 -	Šroub_2
Výrobní výkres 11 -	Tlačný kryt
Výrobní výkres 12 -	Úchyt tyče_1
Výrobní výkres 13 -	Úchyt tyče_2
Výrobní výkres 14 -	Úchytný šroub
Výrobní výkres 15 -	Upínka
Výrobní výkres 16 -	Upínka T
Výrobní výkres 17 -	Upínka_C
Výrobní výkres 18 -	Vložka_1
Výrobní výkres 19 -	Vložka_2
Výrobní výkres 20 -	Vložka_3
Výrobní výkres 21 -	Vložka_4
Výrobní výkres 22 -	Podložka
Výkres sestavy 1 -	Upínka drátu
Výkres sestavy 2 -	Upínka tyče
Výkres sestavy 3 -	Upínka šroubu
Výkres sestavy 4 -	Hybridní fixátor
Kusovník 1 -	Upínka tyč_kusovník

Příloha B: Okrajové podmínky MKP výpočtů

Příloha B/1 Okrajové podmínky kruhu

Příloha B/2 Okrajové podmínky upínky drátu

Příloha B/3 Okrajové podmínky sestavy fixátoru

Příloha C: Materiálové tabulky a katalogy

Příloha C/ 1 Uhlíkové vlákno[15]

Příloha C/ 2 Nerezová (austenitická) ocel[18]

Příloha C/ 3 Titan[19]

Příloha C/4.1 Termoplastický materiál [21]

Příloha C/4.2 Termoplastický materiál [21]

Příloha C/5.1 Použité lepidlo [12]

Příloha C/5.1 Použité lepidlo [12]

Příloha D: Obrázky modelu fixátoru

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

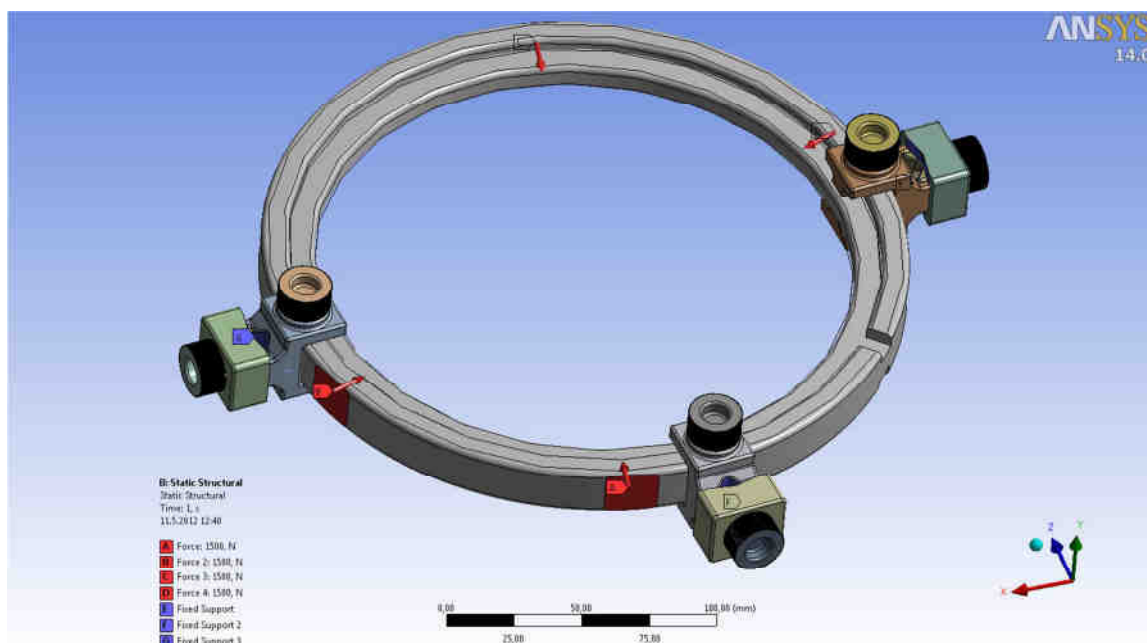
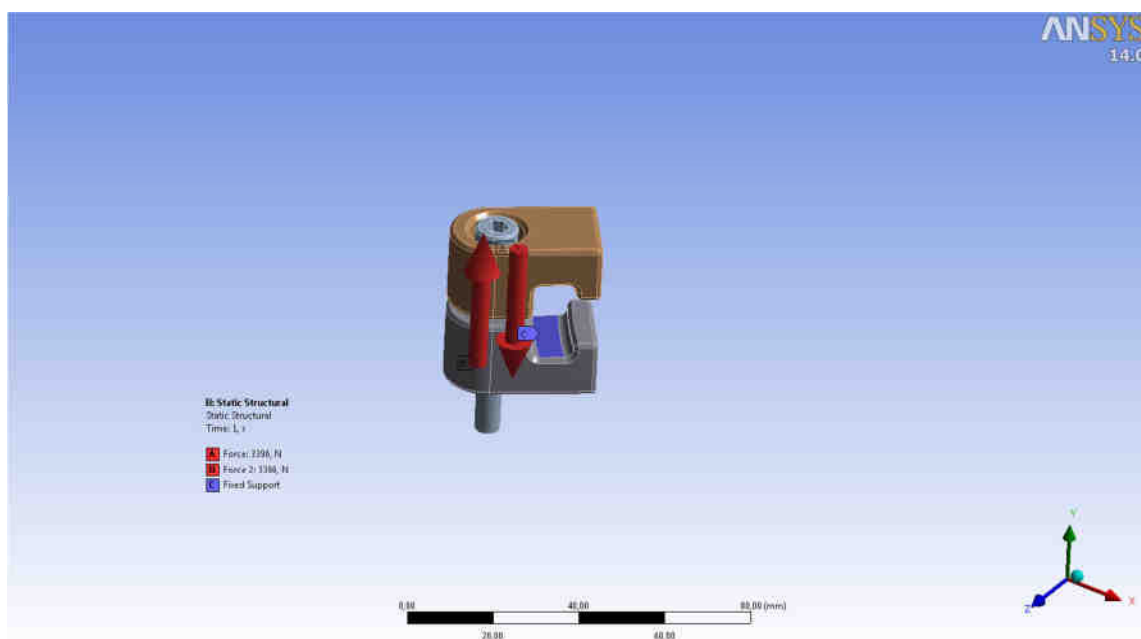
OBRÁZKY

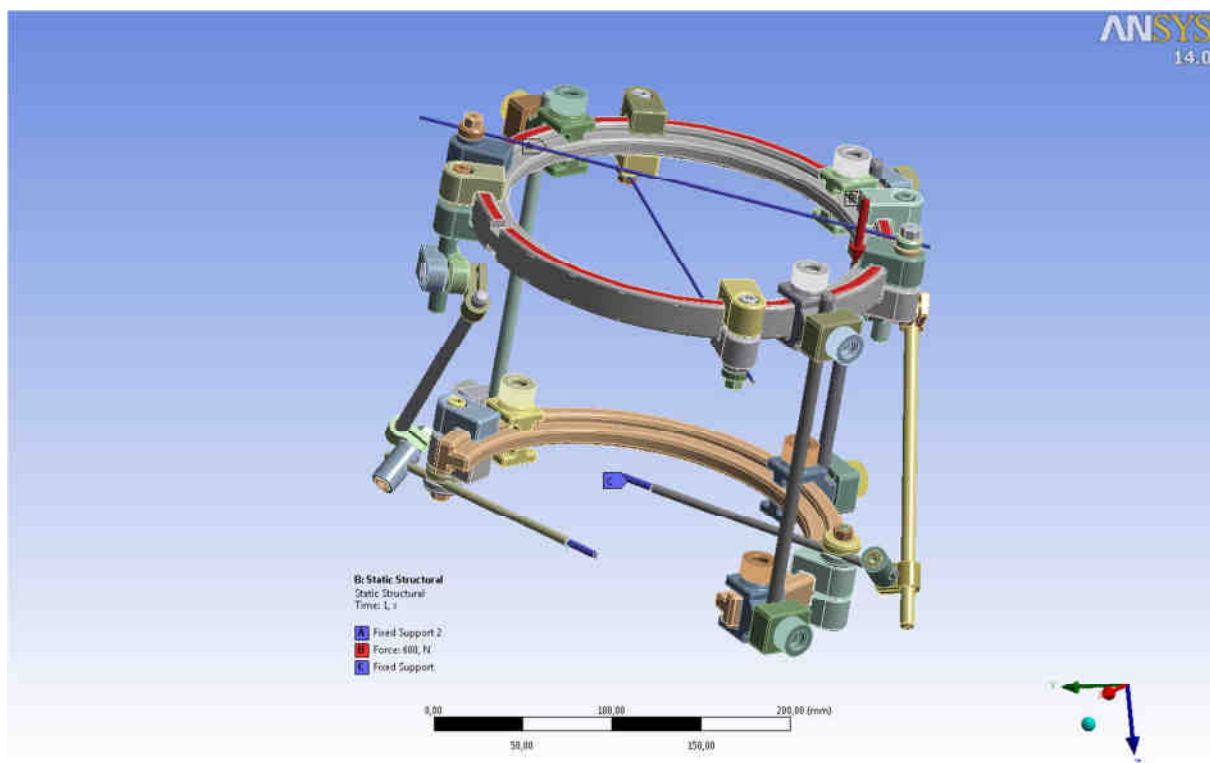
Obr. 3.1 - Různé typy dlah od firmy Medin a.s.[1]	13
Obr. 3.2 - Konstrukční provedení zevního fixátoru firmy Synthes[2]	14
Obr. 4.1 - Malgaigného bodec a háky [3].....	15
Obr. 4.2 - Ukázky použití unilaterálního fixátor [5].....	16
Obr. 4.3 - Kruhový fixátor [5]	17
Obr. 4.4 - Schéma hybridního fixátoru XCaliber (Orthofix)[6]	18
Obr. 4.5 - Kruh firmy Prospon[7]	19
Obr. 4.6 - Svorka Schanzových šroubů [8].....	20
Obr. 4.7 - Svorka nosných tyčí [8]	20
Obr. 4.8 - Upínka vyvinutá VŠB-TU Ostrava [9]	21
Obr. 4.9 - Schanzovy šrouby [5].....	22
Obr. 4.10 - Schéma provedení Kirschnerových drátů [1].....	23
Obr. 4.11 - Schéma umístění drátů v kosti [11].....	23
Obr. 5.1 - Návrh kruhu s otvory	24
Obr. 5.2 - První varianta upnutí nosné tyče	25
Obr. 5.3 - Upevnění upínky na kruhu	26
Obr. 5.4 - Druhá varianta upínky tyče s popisem	26
Obr. 5.5 - Schéma kuželového závitu[5]	27
Obr. 5.6 - Upevnění druhé varianty na kruhu	27
Obr. 5.7 - Návrh kruhu bez otvoru	28
Obr. 5.8 - Koncept upínky nosné tyče	28
Obr. 5.9 - Konečný návrh upnutí nosné tyče	29
Obr. 5.10 - Koncept uchycení drátu.....	30
Obr. 5.11 - Konečný návrh upnutí drátu.....	30
Obr. 5.12 - Upínka drátu v řezu s popisem.....	31
Obr. 5.13 - Různé velikosti upínací vložky	31
Obr. 5.14 - základní model konstruování	32
Obrázek č. 5.15 - Model první varianty uchycení Schanzových šroubů	33
Obr. 5.16 - Detail upínky pro uchycení nosné části	34
Obr. 5.17 - Schéma možnosti pootočení kloubu.....	34
Obr. 5.18 - Řez nosného tělesa s kloubem.....	35

Obr. 5.19 - Dva druhy ustavení Schanzových šroubů	36
Obr. 5.20 - Upínka pro spojení uhlíkové tyče a šroubu	36
Obr. 5.21 - Druhá varianta hybridního fixátoru	37
Obr. 5.22 - Princip upnutí Schanzových šroubů	38
Obr. 5.23 - Ukázka etap vývoje upnutí vertikální tyče	38
Obr. 5.24 - Konečné řešení upnutí uhlíkové tyče	39
Obr. 5.25 - Detail uchycení tyče	40
Obr. 5.26 - Sestava fixátoru s hlavními rozměry	40
Obr. 6.1 - Použité elementy síťování [5]	41
Obr. 6.2 - Deformace kruhu	42
Obr. 6.3 - Maximální napětí (Von Mises)	42
Obr. 6.4 - Maximální napětí na kruhu	43
Obr. 6.5 - Osová síla působící ve šroubu	44
Obr. 6.6 - Schéma šroubového spoje upínky	44
Obr. 6.7 - Schéma montáže upínky	45
Obr. 6.8 - Celková deformace	46
Obr. 6.9 - Maximální napětí	46
Obr. 6.10 - Napětí dle metody Von Mises	47
Obr. 6.11 - Vysíťovaný výpočtový model	48
Obr. 6.12 - Deformace sestavy fixátoru	49
Obr. 6.13 - Napětí fixátoru dle metody Von Mises	49
Obr. 6.14 - Maximální hlavní napětí fixátoru	50

TABULKY

Tab. 6.1 – Výsledky pevnostní analýzy kruhu	43
Tab. 6.2 – Výsledky pevnostní analýzy upínky	47
Tab. 6.3 – Výsledky pevnostní analýzy fixátoru	50

Příloha B: Okrajové podmínky MKP výpočtu**Příloha B/ 1 Okrajové podmínky kruhu****Příloha B/ 2 Okrajové podmínky upínky drátu**



Příloha B/ 3 Okrajové podmínky sestavy fixátoru

Příloha C: Materiálové tabulky a katalog

Uhlíkové vlákno			
Hustota ρ [g/cm ³]	Youngův modul E [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Poissonovo číslo μ [-]
1,5	54460	100	0,25

Příloha C/ 4 Uhlíkové vlákno [15]

Nerezová ocel 1.4301 (X5CrNi18-10, AISI 304, 17 240)			
Hustota ρ [g/cm ³]	Youngův modul E [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Poissonovo číslo μ [-]
7,9	200 000	230	0,3

Příloha C/ 5 Nerezová (austenitická) ocel [18]

Titan Ti6Al4V			
Hustota ρ [g/cm ³]	Youngův modul E [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Poissonovo číslo μ [-]
4,42	114 000	830	0,3

Příloha C/ 6 Titan [19]

Příloha C/4.1 Termoplastický materiál [21]

VICTREX® PEEK™ 450CA30

Polyetheretherketone
Victrex plc



Prospector

Product Description

High performance thermoplastic material, 30% carbon fibre reinforced PolyEtherEtherKetone (PEEK), semi crystalline, granules for injection moulding and extrusion, standard flow, FDA food contact compliant, colour black.

Applications for higher strength and stiffness in a static or dynamic system. Excellent wear resistance, low coefficient of friction, low coefficient of thermal expansion. Chemically resistant to aggressive environments.

General

Material Status	• Commercial: Active		
Availability	• Asia Pacific	• Europe	• North America
Filler / Reinforcement	• Carbon Fiber Reinforcement, 30% Filler by Weight		
Features	• Good Chemical Resistance	• High Stiffness	• Semi Crystalline
	• Good Flow	• High Strength	
	• Good Wear Resistance	• Low Friction	
Agency Ratings	• FDA Food Contact, Unspecified Rating	• Rolls Royce #DMSRR 1018	
Appearance	• Black		
Forms	• Granules		
Processing Method	• Extrusion	• Injection Molding	

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Density	1.40 g/cm ³	ISO 1183
Molding Shrinkage		
Across Flow: 170°C, 3.00 mm	0.50 %	
Flow: 170°C, 3.00 mm	0.10 %	
Water Absorption		ISO 62
23°C, 24 hr, 3.20 mm	0.040 %	
Equilibrium, 23°C, 3.20 mm, 50% RH	0.30 %	
Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus (23°C)	25000 MPa	ISO 527-2
Tensile Stress		ISO 527-2
Break, 23°C	260 MPa	
Break, 125°C	160 MPa	
Break, 175°C	85.0 MPa	
Break, 275°C	50.0 MPa	
Tensile Strain (Break, 23°C)	1.7 %	ISO 527-2
Flexural Modulus (23°C)	23000 MPa	ISO 178
Flexural Strength		ISO 178
275°C	60.0 MPa	
175°C	120 MPa	
125°C	250 MPa	
23°C	380 MPa	
Compressive Stress		ISO 604
23°C	300 MPa	
120°C	200 MPa	
200°C	70.0 MPa	
Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength (23°C)	7.0 kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy Unnotched Impact Strength (23°C)	45 kJ/m ²	ISO 179/1U
Notched Izod Impact Strength (23°C)	9.5 kJ/m ²	ISO 180/A
Unnotched Izod Impact Strength (23°C)	45 kJ/m ²	ISO 180
Hardness	Nominal Value Unit	Test Method
Shore Hardness (Shore D, 23°C)	90	ISO 868
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature		ISO 75-2/A
1.8 MPa, Unannealed	336 °C	
Glass Transition Temperature	143 °C	ISO 11357-2

Příloha C/4.2 Termoplastický materiál [21]

VICTREX® PEEK™ 450CA30		Saturday, October 08, 2011
Polyetheretherketone		
Victrex plc		
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Melting Temperature	343 °C	ISO 11357-3
CLTE		ISO 11359-2
Flow: < 143°C	5.0E-6 cm/cm/°C	
Flow: > 143°C	6.0E-6 cm/cm/°C	
Transverse: < 143°C	0.000040 cm/cm/°C	
Transverse: > 143°C	0.00010 cm/cm/°C	
Specific Heat (23°C)	1800 J/kg/°C	DSC
Thermal Conductivity (23°C)	0.95 W/m/K	Internal Method
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Volume Resistivity ² (23°C)	1.0E+5 ohm-cm	ASTM D4496
Flammability	Nominal Value Unit	Test Method
Flame Rating - UL (0.500 mm)	V-0	UL 94
Glow Wire Flammability Index (2.00 mm)	960 °C	IEC 60695-2-12
Toxicity		NES 713
CO Content	0.0500	
CO2 Content	0.120	
Total Gases	0.170	
UL	Nominal Value Unit	Test Method
RTI Str	240 °C	UL 746
RTI Imp	200 °C	UL 746
Fill Analysis	Nominal Value Unit	Test Method
Melt Viscosity (400°C)	675 Pa-s	ISO 11443
Injection	Nominal Value Unit	
Drying Temperature	120 to 150 °C	
Drying Time	3.0 to 5.0 hr	
Hopper Temperature	< 100 °C	
Rear Temperature	375 °C	
Middle Temperature	380 to 385 °C	
Front Temperature	390 °C	
Nozzle Temperature	395 °C	
Mold Temperature	180 to 210 °C	
Injection Notes		
Runner: Die / nozzle >3mm, manifold >3.5mm		
Gate: >2mm or 0.5 x part thickness		
Notes		
¹ Typical properties; these are not to be construed as specifications.		
² 1V		

Příloha C/5.1 Použité lepidlo [12]

**IA A 4545 Konstrukční lepidlo**

A 4545 je druhá generace dvousložkových AKRYLIC konstrukčních lepidel, kteří kombinují vysokou pevnost a teplotní odolnost tradičních AKRYLIC s kvalitou pružného „gumového“ vytvrzení odolného na „LOUPÁNÍ a RÁZOVÉ šoky“.

Lepí kovy, barevné kovy, nerez ocel, uhlík, sklo, epoxy a epoxy, plasty, polykarbonátová skla, Polyestery, GRP, bakelity, plasty, keramiku a v kombinaci.

S pevností spoje až do 350 kg/cm² a teplotní odolností do 200°C (krátkodobě).

Počáteční manipulační pevnosti je dosaženo za 5 minut, 50% pevnost je po 1 hodině a konečné vytvrzení je po 6 hodinách.

Slepení se projeví svoji vysokou rázovou pevností, tažnou pevností a vysokou pevností při odtrhování s dobrou pružnou adhezí, dokonce i na lehce zaolejovaném povrchu.

Aplikace je jednoduchá s použitím různých aplikačních pistolí a mixážních trysek, které se hodí na většinu aplikací.

Je vhodný i pro vypalovací barvu (+180°C). Normální doporučená operační teplotní hranice pro nepřetržitě teplotní vystavení je -50 až +130°C.

Nikdy nemíchat velké množství složek A a B společně, jeho exotermická reakce vytváří velké množství tepla a výparů. Povrch musí být čistý a suchý (odmastit S 1950 nebo S1960), nicméně **A 4545** je tolerantní k lehce zaolejovanému povrchu.

Je dostačující aplikovat část A na jednu stranu a část B na druhou k vytvrzení.

Aplikace:

Ačkoliv **A 4545** lepí i na lehce zaolejovaném povrchu, pro maximální pevnost se doporučuje vyčistit povrch čističem S 1950 (S 1960) a lehce obrousit skelným papírem. **A 4545** je rozpustný v acetonu.

A 4545 může být aplikováno přímo z lahviček v poměru 1:1 a vytvrzovací čas může být přizpůsoben ve variacích mixu (3:2max) bez ovlivnění lepené pevnosti po konečném vytvrzení (1hod).

Chemický základ:

Složení :	Methyl Methacrylate
Barva :	zelená a růžová viskózní kapalina
Barva po smíchání :	Nafialová
Rychlost vytvrzování 1:1 mix :	< 2 minuty
Rychlost vytvrzování poměrově :	2-7 minut
Viskozita :	3500 cps @ 20°C (+500cps)
Spára :	< 3mm
Bod vzplanutí :	12°C
Životnost v originál lahvi :	6 měsíců @ 20°C
Operační teplota :	-40° až do +180°C
Maximální teplotní odolnost :	+200°C (krátkodobě)
Normální teplotní odolnost :	+130°C
Pevnost v tahu na stříh :	16-22 N/mm ²
Specifická váha (H ₂ O 1) :	1.02
Rozpustnost ve vodě :	nerozpustný
Zápach :	dráždivý

Příloha C/5.2 Použité lepidlo [12]

Pevnosti spoje A 4545 : Substráty Kg/cm²

ocel-ocel	276 - 342
hliník-hliník	224
měď-měď	244
nerez ocel-nerez ocel	204
mosaz-mosaz	228
chrom-chrom	162
nikl-nikl	193
zinek-zinek	214

polyester-polyester	31
tvrdý PVC-tvrdý PVC	35 substrát poškozen
ABS-ABS	47
styrol-styrol	24
epoxid FRP-epoxid FRP	84 substrát poškozen
fenol FRP-fenol FRP	65 substrát poškozen

Chemická odolnost: Ocel - ocel ponořené 7 dní @ 20°C

	Kg/cm ²	Odolnost v %
Neponořený úsek	283	100
Benzín	246	87
Voda	225	80
Hydroxid sodný (10%)	223	79
Xylen	195	69
Etylacetát	91	32

Vytvrzování a pevnosti :

Vytvrzovací čas (50% pevnost)	1 hodina
Konečná pevnost po :	6 hodinách
Pevnost Kov-Kov :	20-35 N/mm ²
Pevnost Sklo-Kov :	16-22 N/mm ²

Skladování :

Skladujte v chladnu, ve tmě mimo sluneční záření.

Životnost : 6 měsíců @ 20°C

Balení : 25ml dvojstříkačka, 100g sada A+B, 1 a 5kg

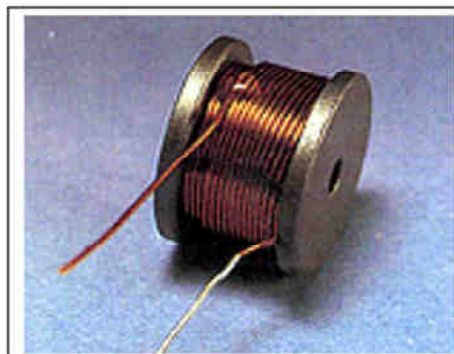
Upozornění:

Obsahuje metylmetakrylát a metakrylovou kyselinu. Dráždí oči, dýchací ústrojí a pokožku. Může způsobit podráždění při styku s pokožkou. Skladujte výrobek na chladném, tmavém, dobře větraném místě. Chraňte před zdroji vznícení - při práci nekuřte.

Nevdechujte výpary. V případě kontaktu s očima je okamžitě vymyjte proudem vody a vyhledejte lékařskou pomoc. Při kontaktu s pokožkou ji ihned umyjte mýdlem a vodou. Dodržujte bezpečnostní opatření proti vzniku statického výboje.

Uvedené hodnoty jsou průměrné a nepředstavují specifikaci.

Dodává : HF Market s.r.o. , Plešnice 25, 330 33 Město Touškov

Tel.: 377 279 254, 377 279 255 fax.: 377 279 260, E-mail: hmarket@hmarket.cz ,
www.hmarket.cz

Příloha D: Obrázky modelu fixátoru



